

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM ARROZ IRRIGADO EM  
VÁRZEA TROPICAL**

**YONÁ SERPA MASCARENHAS**

Orientadora:  
**Prof<sup>a</sup>. Dra. Vladia Correchel**

Maio, 2018

---

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR  
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES  
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico:     Dissertação     Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Nome completo do autor: Yoná Serpa Mascarenhas

Título do trabalho: Emissão de gases de efeito estufa em arroz irrigado em várzea tropical

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento  SIM     NÃO<sup>1</sup>

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.



---

Assinatura do(a) autor(a)<sup>2</sup>

Ciente e de acordo:



---

Assinatura do(a) orientador(a)<sup>2</sup>

Data: 31 / 10 / 2018

<sup>1</sup> Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

<sup>2</sup> A assinatura deve ser escaneada.

**YONÁ SERPA MASCARENHAS**

**EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM ARROZ IRRIGADO EM  
VÁRZEA TROPICAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração: Solo e Água.

Orientador(a):

**Prof.(a). Dr.(a) Vladia Correchel**

Co-orientador(a):

**Dr.(a) Mellissa A. Soler da Silva**

Goiânia, GO – Brasil  
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Serpa Mascarenhas, Yoná  
EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM ARROZ  
IRRIGADO EM VÁRZEA TROPICAL [manuscrito] / Yoná Serpa  
Mascarenhas. - 2018.  
CXXI, 121 f.: il.

Orientador: Prof. Vladia Correchel; co-orientador Mellissa Ananias Soler da Silva.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos (EAEA), Programa de Pós Graduação em Agronomia, Goiânia, 2018.

Bibliografia.

Inclui símbolos, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Oryza sativa. 2. física do solo. 3. inibidor. 4. óxido nitroso. 5. metano. I. Correchel, Vladia, orient. II. Título.


CDU 631/635

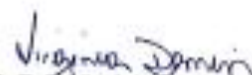


## ATA DE DEFESA DE TESE

Aos vinte e oito dias do mês de maio do ano de dois mil e dezoito (28.05.2018), às 08h00min, no auditório do PPGA, da Escola de Agronomia da UFV, reuniu-se a Banca Examinadora, composta pelos membros: Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Vládia Correchal - Orientadora e Presidente da Banca, Dr<sup>o</sup>. Melissa Ananias Soler da Silva - Co-orientadora, Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Virginia Damin, Prof. Dr. Adão Wagner Pêgo Evangelista, Dr<sup>o</sup>. Márcia Thais de Melo Carvalho e Dr. Alberto Baêta dos Santos, para a realização da sessão pública da defesa de Tese intitulada: "Emissão de gases de efeito estufa em arroz irrigado em várzea tropical", de autoria de Yoná Serpas Mascarenhas, discente do curso de **Doutorado**, na área de concentração em **Solo e Água**, do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFV. A sessão foi aberta pela presidente, que fez a apresentação formal dos membros da Banca e deu início as atividades relativas à defesa da Tese. Passou a palavra a doutoranda que em quarenta minutos apresentou o seu trabalho. Após a exposição, a candidata foi arguida pelos membros da banca. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. De acordo com a Resolução CEPEC 1403/2016, de 10 de junho de 2016 que regulamenta os Programas de Pós-Graduação *Stricto Sensu* na UFV, a Banca Examinadora considerou a Tese "APROVADA", com as correções recomendadas, estando integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **DOUTORA** em Agronomia, na área de concentração em **SOLO E ÁGUA**, pela Universidade Federal de Goiás. A doutoranda poderá efetuar as modificações sugeridas pela Banca Examinadora e encaminhar nova versão eletrônica da Tese à Secretaria do PPGA, no prazo máximo de trinta dias após a data da Defesa. A Banca Examinadora recomendou a publicação de artigo(s) científico(s), oriundo(s) dessa Tese, em periódicos de circulação nacional e, ou, internacional, depois de acatadas as modificações sugeridas. Para finalizar, a Presidente agradeceu os membros examinadores, congratulou-se com a doutoranda e encerrou a sessão às 12h55min, para constar, eu Welinton Barbosa Mota, secretário do PPGA, lavrei a presente Ata que depois de lida e aprovada, será assinada pelos membros da Banca Examinadora, em quatro vias de igual teor.

  
Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Vládia Correchal  
Presidente da Banca - EA/UFV

  
Dr<sup>o</sup>. Melissa Ananias Soler da Silva  
Membro - Ênfase Arroz e Feijão

  
Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Virginia Damin  
Membro - EA/UFV

  
Prof. Dr. Adão Wagner Pêgo Evangelista  
Membro - EA/UFV

  
Dr<sup>o</sup>. Márcia Thais de Melo Carvalho  
Membro - Ênfase Arroz e Feijão

  
Dr. Alberto Baêta dos Santos  
Membro - Ênfase Arroz e Feijão

Aos meus pais, Furtunato Mascarenhas Filho e  
Nelice Helena Serpa Mascarenhas, pelo amor  
incondicional, e por serem exemplos em minha  
vida...

Aos meus irmãos, Muriel e Letânea, pelo amor  
cotidiano...

Dedico!

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço imensamente a Deus pelo dom da vida, por me dar saúde, força, paciência, persistência e por ter colocado pessoas boas em minha vida como os membros da minha família, minha orientadora Vladia Correchel e minha co-orientadora Mellissa Ananias Soler da Silva e meus amigos, por que sem eles essa etapa da minha vida não teria nem começado.

A minha família em especial aos meus pais Furtunato Mascarenhas Filho e Nelice Helena Serpa Mascarenhas e também aos meus irmãos Muriel e Letânea Serpa Mascarenhas por formarem a base da minha vida e aguentarem meus aborrecimentos.

A amiga, professora e orientadora Vladia Correchel, pela oportunidade, ensinamentos, orientação e conselhos durante a graduação e mestrado e doutorado. A amiga, pesquisadora e co-orientadora Mellissa Ananias Soler da Silva, também pela oportunidade, ensinamentos, orientação e conselhos durante o doutorado. São pessoas maravilhosas que não pouparam esforços para me ajudar durante esse período, orientando, transmitindo conhecimentos, e assim me ensinando e me fazendo crescer. São dois exemplos de vida para mim, que pretendo um dia chegar perto do que são. Muito obrigada mesmo.

A todos os professores da Escola de Agronomia da UFG, por serem mediadores da produção do nosso conhecimento, e que ficarão guardados em minha memória pelos bons momentos que me proporcionaram durante o meu tempo na Escola, e que ainda e sempre proporcionarão boas lembranças e ensinamentos em minha vida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e pela concessão da bolsa de estudos. Especialmente à Embrapa Arroz e Feijão e seus funcionários pelo suporte e apoio para a execução e desenvolvimento desta pesquisa.

Ao corpo técnico da Embrapa Arroz e Feijão, em especial ao Romildo, Ailton, Marcio Borges, Adilson Francisco, Seu Silvo, Diego Mendes e outros que

me fugiram da memória, mas que não pouparam esforços para me auxiliar enquanto presente na Embrapa Arroz e Feijão.

Aos colegas e amigos de vida, de graduação e de pós-graduação, Ana Paula Belo, Eli Regina Barboza de Souza, Gustavo de Melo Oliveira Gonçalves, Leonardo Barros, Natal José Eufrásio e Rubia Correa, que sempre mostraram disponibilidade e prontidão em me ajudar e assim, contribuíram para minha formação. Agradeço, também pelos momentos de acolhimento e afeto.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), em especial ao secretário, Welinton Barbosa Mota, pela mão sempre estendida quando todos necessitam.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b>	13
<b>ABSTRACT</b>	14
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	18
2.1 POTENCIALIDADE ECONÔMICA DA ORIZOCULTURA	18
2.2 SOLOS ALAGADOS TROPICAIS	19
2.3 ARROZ IRRIGADO	25
2.3.1 <b>Importância econômica</b>	26
2.3.2 <b>Nitrogênio no arroz irrigado</b>	27
2.4 DINÂMICA DO NITROGÊNIO	31
2.5 DINÂMICA DO CARBONO	33
2.6 EMISSÃO DE GEE PELA ATIVIDADE AGRÍCOLA	35
2.6.1 <b>Emissão de GEE em áreas cultivadas com arroz irrigado por inundação</b>	38
2.7 REFERÊNCIAS	40
<b>3 IMPACTO DO USO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO, ESTOQUE DE CARBONO E PRODUTIVIDADE DE ARROZ IRRIGADO POR INUNDAÇÃO...</b>	51
3.1 INTRODUÇÃO	52
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	54
3.2.1 <b>Área Experimental</b>	54
3.2.2 <b>Desenvolvimento do experimento</b>	55
3.2.3 <b>Amostragem e análises de solo</b>	57
3.2.4 <b>Análise estatística</b>	60
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
3.4 CONCLUSÕES	75
3.5 REFERÊNCIAS	76
<b>4 EMISSÃO DE METANO E ÓXIDO NITROSO EM ARROZ IRRIGADO POR INUNDAÇÃO EM VÁRZEA TROPICAL EM RAZÃO DO USO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS.....</b>	82
4.1 INTRODUÇÃO	84
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	86
4.2.1 <b>Área Experimental</b>	86
4.2.2 <b>Desenvolvimento do experimento</b>	87
4.2.3 <b>Coleta das amostras de gases e análise do N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub></b>	89
4.2.4 <b>Calculo dos fluxos de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub></b>	91
4.2.5 <b>Análise complementares</b>	93
4.2.6 <b>Análises estatísticas</b>	94
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	95
4.3.1 <b>Emissões de N<sub>2</sub>O</b>	95

4.3.2	<b>Concentrações de <math>\text{NO}_3^-</math> e <math>\text{NH}_4^+</math> no solo, Eh e pH do solo</b>	99
4.3.3	<b>Emissão total de <math>\text{N}_2\text{O}</math> e fator de emissão</b>	103
4.3.4	<b>Emissão de <math>\text{CH}_4</math></b>	107
4.3.5	<b>Potencial de Aquecimento Global parcial (PAGp) e produtividade do arroz irrigado por inundação</b>	111
4.4	<b>CONCLUSÕES</b>	114
4.5	<b>REFERÊNCIAS</b>	114
5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	121

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.1</b>	Análise de variância para as características físicas, estoques de carbono e de nitrogênio e produtividade de arroz irrigado por inundação em várzea tropical em um Gleissolo Háplico. Goianira, GO.	60
<b>Tabela 1.2</b>	Estimativas dos parâmetros de forma do modelo Van Genuchten, ajustados para representar a retenção de água do solo dentro das profundidades 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-30; 30-40 e 40-50 cm em um Gleissolo Háplico.	73
<b>Tabela 2.1</b>	Análise de variância para as emissões acumuladas de N <sub>2</sub> O, nas safras de 2014/2015, 2015/2016 e entressafra em cultivo de arroz tropical, irrigado por inundação, sob Gleissolo Háplico, Goianira, GO.	99
<b>Tabela 2.2</b>	Potencial de aquecimento global parcial (PAGp), produtividade de grãos de arroz e Intensidade de emissão de GEE em arroz tropical irrigado por inundação, BRS Catiana, safras 2014/2015 e 2015/2016, Goianira, GO.	112

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b>	Localização da área experimental (Embrapa, 2013).	55
<b>Figura 1.2</b>	Amostragem de solo nas parcelas experimentais, em várzea tropical.	57
<b>Figura 1.3</b>	Porosidade total no perfil de um Gleissolo Háplico sob cultivo de arroz irrigado por inundação. Goianira, GO.	61
<b>Figura 1.4</b>	Macroporosidade no perfil de um Gleissolo Háplico sob cultivo de arroz irrigado por inundação. Goianira, GO.	62
<b>Figura 1.5</b>	Microporosidade no perfil de um Gleissolo Háplico sob cultivo de arroz irrigado por inundação. Goianira, GO.	63
<b>Figura 1.6</b>	Densidade do solo no perfil de um Gleissolo Háplico sob cultivo de arroz irrigado por inundação. Goianira, GO.	64
<b>Figura 1.7</b>	Condutividade hidráulica saturada do solo no perfil de um Gleissolo Háplico sob cultivo de arroz irrigado por inundação. Goianira, GO.	66
<b>Figura 1.8</b>	Estoque de Carbono no perfil de um Gleissolo Háplico sob cultivo de arroz irrigado por inundação. Goianira, GO.	67
<b>Figura 1.9</b>	Estoque de nitrogênio no perfil de um Gleissolo Háplico sob cultivo de arroz irrigado por inundação. Goianira, GO.	68
<b>Figura 1.10</b>	Coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis estudadas, em Gleissolo Háplico, cultivado com arroz tropical irrigado por inundação. Goianira, GO.	69
<b>Figura 1.11</b>	Curvas de retenção de água do solo e umidades observadas (marcadores) nas tensões (0, -6, -8, -10, -33, -60, -100 e -1500 kPa), dentro das profundidades 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-30; 30-40 e 40-50 cm, em Gleissolo Háplico. As estimativas dos parâmetros da forma são apresentadas na Tabela 2.	71
<b>Figura 1.12</b>	Efeito das fontes de fertilizante mineral nitrogenado sobre a produtividade de arroz tropical irrigado por inundação, BRS Catiana, em um Gleissolo Háplico em Goianira, GO.	74
<b>Figura 1.13</b>	Efeito das doses de fertilizante mineral nitrogenado sobre a produtividade de arroz tropical irrigado por inundação, BRS Catiana, em um Gleissolo Háplico em Goianira, GO.	75
<b>Figura 2.1</b>	Localização da área experimental (fonte: Embrapa, 2013).	85
<b>Figura 2.2</b>	Câmaras de coleta de N <sub>2</sub> O retangular (Mosier, 1989), instaladas na área experimental da Fazenda Palmital, Goianira-GO.	88
<b>Figura 2.3</b>	Câmaras de coleta de N <sub>2</sub> O confeccionadas com baldes plásticos brancos de 30 litros (Mosier, 1989), instaladas na área	89

experimental da Fazenda Palmital, Goianira-GO

- Figura 2.4** Extratores de solução do solo, instaladas na área experimental da Fazenda Palmital, Goianira-GO. 93
- Figura 2.5** Precipitação e temperatura do ar mensal (A), fluxo de N<sub>2</sub>O (B) decorrentes da aplicação de ureia comum (UC) e ureia protegida (UP) nas doses (30, 70 e 150 kg ha<sup>-1</sup>) em cultivo de arroz irrigado em várzea tropical, Goianira-GO, safras: 2014/2015 e 2015/2016. (As setas indicam as adubações de cobertura em 26/11/2014, 04/01/2015, 17/11/2015 e 12/12/2015). 94
- Figura 2.6** Variação do teor de nitrato (A) e variação do teor de amônio (B) no solo e na solução do solo durante em cultivo de arroz irrigado em várzea tropical nas safras 2014/15 e 2015/16. Tratamentos: ureia comum (UC) e ureia protegida (UP) nas doses (30, 70 e 150 kg ha<sup>-1</sup>). As setas indicam as adubações de cobertura do fertilizante nitrogenado (26/11/2014, 04/01/2015, 17/11/2015 e 12/12/2015). 98
- Figura 2.7** Alteração do potencial redox (Eh, mV) de um Gleissolo Háplico cultivado com arroz tropical, irrigado por inundação em Goianira, GO, 2014/2015. 100
- Figura 2.8** Alteração no potencial redox (Eh, mV) de um Gleissolo Háplico cultivado com arroz tropical, irrigado por inundação, Goianira, GO, safra 2015/2016. 101
- Figura 2.9** Alteração no pH de um Gleissolo Háplico cultivado com arroz tropical, irrigado por inundação, Goianira, GO, safra 2015/2016. 103
- Figura 2.10** Emissão acumulada de N<sub>2</sub>O em Gleissolo Háplico cultivado com arroz tropical, irrigado por inundação, Goianira, GO. Tratamentos (controle, ureia comum (UC 30; UC 70 e UC 150) e ureia protegida (UP 30, UP 70 e UP 150)). Barras verticais representam o erro padrão da média. 104
- Figura 2.11** Fator de emissão de nitrogênio para os tratamentos avaliados nas duas safras de cultivo de arroz tropical, irrigado por inundação, Goianira, GO. Tratamentos (controle, ureia comum (UC 30; UC 70 e UC 150) e ureia protegida (UP 30, UP 70 e UP 150)). 106
- Figura 2.12** Precipitação e temperatura do ar mensal (A), fluxo de CH<sub>4</sub> (B) decorrentes da aplicação de ureia comum (UC) e ureia protegida (UP) nas doses (30, 70 e 150 kg ha<sup>-1</sup>) em cultivo de arroz irrigado em várzea tropical, Goianira-GO, safras: 2014/2015 e 2015/2016. (As setas indicam as adubações de cobertura em 26/11/2014, 04/01/2015, 17/11/2015 e 12/12/2015). 108
- Figura 2.13** Emissão acumulada de CH<sub>4</sub> em Gleissolo Háplico cultivado com arroz tropical, irrigado por inundação, Goianira, GO. Tratamentos (controle, ureia comum (UC 30; UC 70 e UC 150) e ureia protegida (UP 30, UP 70 e UP 150)). Barras verticais 111

representam o erro padrão da média.

- Figura 2.14** Efeito das fontes de fertilizante mineral nitrogenado sobre a produtividade de arroz tropical irrigado por inundação, BRS Catiana, em um Gleissolo Háplico em Goianira, GO. 114
- Figura 2.15** Efeito das doses de fertilizante mineral nitrogenado sobre a produtividade de arroz tropical irrigado por inundação, BRS Catiana, em um Gleissolo Háplico em Goianira, GO. 114

## RESUMO

MASCARENHAS, Y.S. **Emissão de gases de efeito estufa em arroz irrigado em várzea tropical**. 2018. 121 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2018.<sup>1</sup>

O cultivo de arroz inundado (*Oryza sativa* L.) emite tanto N<sub>2</sub>O como CH<sub>4</sub>, que podem contribuir significativamente para as emissões totais de gases de efeito estufa (GEE) dos sistemas. A aplicação de fertilizantes nitrogenados, normalmente é necessária para atingir ótimos rendimentos, no entanto, aplicação em excesso, pode aumentar os riscos de poluição e de emissões de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> em sistema de arroz irrigado por inundação. Um estudo em condições de campo foi realizado na Fazenda Palmital, Estação Experimental da Embrapa Arroz e Feijão, em Gleissolo Háplico, com o intuito de determinar as emissões de GEE, o estoque de carbono e as propriedades físicas do solo em sistema de produção de arroz irrigado por inundação em várzeas tropicais sob diferentes fontes e doses de N. Os tratamentos resultaram da combinação fatorial: (ureia comum (UC) e ureia protegida (UP)), e três doses nitrogênio (30, 70, 150 kg ha<sup>-1</sup>), mais a testemunha. Coletaram-se amostras indeformadas e deformadas de solo nas profundidades 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-30; 30-40 e 40-50 cm, para determinação das propriedades físicas do solo. As coletas dos gases foram realizadas na safra 2014/2015, na entressafra 2015, e na safra 2015/2016. As concentrações de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> foram determinadas por cromatografia gasosa. Para determinação de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) no período não inundado foram coletadas amostras de solo e no período inundado foram coletadas soluções do solo, das quais também foram determinados o Eh e o pH do solo. O manejo do nitrogênio afetou a qualidade física do Gleissolo Háplico estudado, porém não interferiu na produtividade do arroz irrigado por inundação. Os estoques de carbono (C) e de N total diminuíram com o aumento da profundidade do perfil do solo, com maior incremento na camada 10-20 cm. Os resultados indicam que os fluxos de N<sub>2</sub>O permaneceram baixos, independentemente das taxas de N aplicadas, quando o solo estava inundado, mas apresentaram picos de emissões no período não inundado, especialmente após precipitações ou após o período de drenagem para a colheita do arroz. Para as emissões de CH<sub>4</sub>, os maiores fluxos ocorreram no final da fase vegetativa do arroz e após a drenagem, quando o solo se encontrava com baixa aeração. Os fluxos de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> não apresentaram relação linear com os teores de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Eh e pH do solo. As emissões de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> não apresentaram diferenças significativas entre as fontes e doses de N. As emissões de N<sub>2</sub>O elevaram-se com a incorporação de adubo verde, enquanto as emissões de CH<sub>4</sub> foram potencializadas com a incorporação dos restos culturais do arroz. A dose 64 kg ha<sup>-1</sup> apresentou a melhor eficiência de uso de N fertilizante para cultivar BRS Catiana com a menor intensidade de emissão.

*Palavras-chave:* *Oryza sativa*, física do solo, inibidor, óxido nitroso, metano

---

<sup>1</sup> Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vladia Correche. EA-UFG.

Co-orientadora: Dr<sup>a</sup>. Mellissa Ananias Soler da Silva. Embrapa Arroz e Feijão.

Co-orientadora: Dr<sup>a</sup>. Beata Eموke Madari. Embrapa Arroz e Feijão.

## ABSTRACT

MASCARENHAS, Y.S. **Emission of greenhouse gases in irrigated rice in tropical floodplain**. 2018. 121 f. Thesis (Doctorate in Agronomy: Soil and Water) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2018.<sup>2</sup>

The flooded rice crop (*Oryza sativa* L.) emits both N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub>, which can contribute significantly to total greenhouse gas (GHG) emissions. Application of nitrogen fertilizers is normally necessary to achieve optimum yields, however over application may increase the risks of pollution and N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions in flooded rice system. A study in field conditions was carried out at the Palmital Farm, Embrapa Experimental Station Rice and Beans, in Gleysol Haplic, in order to verify the greenhouse gas emissions, the carbon stock and the physical properties of the soil in a system of production of flooded rice in tropical lowlands under different sources and doses of N. The treatments resulted from the factorial combination: (common urea (UC) and protected urea (UP)), and three nitrogen doses (30, 70, 150 kg ha<sup>-1</sup>) plus the control. Unformed and deformed soil samples were collected at depths 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-30; 30-40 and 40-50 cm, to determine the physical properties of the soil. Gas collection was carried out in the 2014/2015 harvest, in the off-season 2015, and in the 2015/2016 harvest. The concentrations of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> were determined by gas chromatography. For the determination of nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) and ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) in the non-flooded period, soil samples were collected, soil solutions were collected in the flooded period, Eh and soil pH were determined. Nitrogen management affected the physical quality of Gleysol Haplic studied, but did not interfere in the productivity of flooded rice. The carbon and total nitrogen stocks decreased as the depth increased in the soil profile, with an increase in the layer of 10-20 cm. The results indicate that N<sub>2</sub>O fluxes remained low, regardless of applied N rates, when the soil was flooded, but they showed emission peaks in the non-flooded period, especially after precipitation or in the drainage period for the rice harvest. For the CH<sub>4</sub> emissions the highest flows occurred at the end of the vegetative stage (growth) of the rice and after drainage when the soil was low aeration. The N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> fluxes did not present a linear relation with the NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Eh and soil pH values. Emissions of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> did not show significant differences between sources and doses of N. Emissions of N<sub>2</sub>O increased with the incorporation of green manure, while CH<sub>4</sub> emissions were potentiated with the incorporation of rice crop residues. The 64 kg ha<sup>-1</sup> dose presented the best efficiency of N fertilizer to cultivate BRS Catiana with the lowest emission intensity.

*Key words:* *Oryza sativa*, soil physics, inhibitor, nitrous oxide, methane

---

<sup>2</sup> Advisor: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vladia Correche. EA-UFG.

Co-advisor: Dr<sup>a</sup>. Mellissa Ananias Soler da Silva. Embrapa Arroz e Feijão.

Co-advisor: Dr<sup>a</sup>. Beata Eموke Madari. Embrapa Arroz e Feijão.

## 1 INTRODUÇÃO

A preocupação mundial em relação à implantação de uma produção agrícola mais sustentável tem aumentado nos últimos anos. A agricultura sustentável fundamenta-se na necessidade de um modelo de produção que promove o crescimento econômico, aumentando a produção de alimentos para atender a crescente demanda e, assim, garantir a segurança alimentar, mas que não cause degradação do meio ambiente. As estratégias para alcançar tais objetivos devem ser desenvolvidas localmente, de forma adaptada às condições ecológicas de cada lugar, sendo a redução dos gases de efeito estufa (GEE) uma delas.

A atmosfera terrestre é composta por diferentes gases e partículas, sendo a parte gasosa constituída principalmente por nitrogênio ( $N_2$ ) (78%), oxigênio ( $O_2$ ) (21%) e gases traços (1%) (Le Treut et al., 2007). Os gases traços,  $N_2O$  e  $CH_4$ , são responsáveis pelo fenômeno climático natural conhecido como efeito estufa e é responsável pela manutenção da temperatura média da superfície da terra, aproximadamente  $15^\circ C$  (Baird, 2002), ideal para sobrevivência das formas de vida existentes no Planeta. Entretanto, a problemática é decorrente do aumento da concentração dos gases traços que está intensificando o efeito estufa natural (IPCC, 2014), causando preocupações à comunidade científica.

Estima-se que cerca de um quarto das emissões antropogênicas de GEE sejam oriundas da agropecuária em conjunto com o setor de mudança do uso da terra (IPCC, 2014). No Brasil, cerca de 77% das emissões de  $CO_2$ , 91% das emissões de  $N_2O$  e 87% das emissões de  $CH_4$ , são provenientes da agropecuária e mudança do uso da terra (MCT, 2010), sendo que no setor agropecuário o  $N_2O$  e o  $CH_4$  contribuem com 38% e 62% respectivamente, em termos de  $CO_2$  equivalente ( $CO_2eq$ ) (MTCI, 2014). A contribuição ocorre principalmente pelo desmatamento, cultivo de arroz irrigado, fermentação entérica, manejo dos solos (decomposição da matéria orgânica do solo) e uso de

fertilizantes minerais (IPCC, 2014). Desses fatores, a aplicação de fertilizantes nitrogenados representa uma das práticas mais importantes associada às emissões diretas ou indiretas de N<sub>2</sub>O (Venterea et al., 2011), bem como para as trocas de CH<sub>4</sub> do solo e da atmosfera (IPCC, 2014), em especial o CH<sub>4</sub> em solos inundados.

O cultivo de arroz inundado (*Oryza sativa* L.) emite tanto N<sub>2</sub>O como CH<sub>4</sub>, no entanto, representa uma das principais fontes agrícolas de emissão de CH<sub>4</sub>, em torno de 9 a 11% das emissões totais de CH<sub>4</sub> (IPCC, 2014). Apesar do alto potencial de aquecimento global (GWP) do N<sub>2</sub>O em relação ao CH<sub>4</sub>, quase 15 vezes mais potente, resultados de uma recente meta-análise (Linguist et al., 2012) relataram que as emissões de CH<sub>4</sub> representaram quase 90% do potencial total de aquecimento global dos sistemas de arroz inundado.

O Brasil é o nono produtor mundial de arroz e o maior fora do continente asiático (FAO, 2016). Cerca de 80% da produção brasileira é proveniente de áreas de várzeas (CONAB, 2016), cujo sistema básico de cultivo é o irrigado por inundação. Cerca de 75% da produção de arroz do Brasil se concentra na região Sul (IBGE, 2017). No entanto, no Centro-Oeste, Norte e Nordeste do Brasil, regiões de clima tropical, as áreas de várzeas cultivadas com arroz irrigado são de apenas 13% do total existente e respondem por aproximadamente 11% da produção brasileira (Santos et al., 2008), representando uma área com grande potencial para a expansão da orizicultura irrigada brasileira.

Frente às pressões para o aumento da produção de alimentos, a utilização dessas áreas será inevitável. Com o aumento da produção de arroz, provavelmente, as emissões de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> aumentarão. Dessa forma, estudos que visem o aumento da produtividade associada a redução do impacto ambiental são importantes.

Embora o setor agrícola seja uma das principais fontes emissoras de GEE na atmosfera, também pode comportar-se como dreno de GEE, dependendo das práticas de manejo usadas, podendo contribuir para a mitigação da concentração de GEE na atmosfera. Conforme Bayer et al. (2007), cerca de 20 a 30% das emissões dos GEE podem ser recuperadas por meio do manejo agrícola. Assim, na tentativa de minimizar as emissões de GEE no setor

agropecuário, são necessários estudos que possibilitem uma melhor compreensão das emissões de  $N_2O$  e  $CH_4$ , para viabilizar estratégias ou práticas agrícolas potencialmente mitigadoras.

Neste contexto, o presente estudo se baseou nas seguintes hipóteses:

- Menores níveis de emissão de GEE são obtidos com o uso de fertilizantes nitrogenados que liberam N mais lentamente;
- Menores níveis de carbono no solo inundado ocorrem com maiores doses de adubação nitrogenada;
- Maiores doses de fertilizante nitrogenado podem contribuir para redução da qualidade física do solo.

O objetivo do estudo foi determinar o efeito de fertilizantes nitrogenados na emissão de gases de efeito estufa, no estoque de carbono e nas propriedades físicas do solo em sistema de produção de arroz irrigado por inundação em várzeas tropicais.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 POTENCIALIDADE ECONÔMICA DA ORIZICULTURA**

As condições climáticas da região tropical propiciam vantagens como o cultivo de espécies de sequeiro no período de entressafra do arroz irrigado por inundação, mediante o manejo da água dos canais e do lençol freático por subirrigação na estação seca (maio a setembro) (Santos, 2005).

Na região tropical, onde estão localizadas as regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste do Brasil, a área de várzeas cultivadas com arroz irrigado é de apenas 13% do total existente, mas responde por, aproximadamente, 11% da produção brasileira. No Cerrado, há cerca de 12 milhões de hectares de várzeas, sendo a maior parte, ainda, sob mata ou pastagem nativa. A planície sedimentar da Bacia do Araguaia, no Tocantins, ocupa cerca de 1,2 milhão de hectares e se constitui em uma das regiões mais promissoras para a expansão da orizicultura brasileira. No Vale do Javaés, ainda nesta Bacia, está localizada a maior área contínua para irrigação por gravidade do mundo, com mais de 500 mil hectares, onde estão instalados o Projeto Rio Formoso, no município de Formoso do Araguaia, e o Projeto Javaés, na Lagoa da Confusão. Ambos os projetos ocupam apenas 45 mil ha com a cultura do arroz, no período chuvoso (Santos et al., 2008).

Para auxiliar a expansão da orizicultura, o Governo do Estado do Tocantins, em parceria com o Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID, está realizando investimentos da ordem de R\$ 300 milhões por meio do Programa de Desenvolvimento da Região Sudoeste do Estado do Tocantins - Prodoeste, que permitirá ampliar a sistematização de 25,6 mil hectares. A expectativa é que estes investimentos contribuam para o aumento de mais 154 mil toneladas na produção de arroz irrigado no estado (CONAB, 2016).

A incorporação de novas técnicas de sistematização de áreas e a utilização de sementes de maior potencial produtivo, entre outras recomendações, permitiu um salto da produtividade média do arroz irrigado no estado do Tocantins

de 4.555 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2008/09 para 6.135 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2015/16 (CONAB, 2016).

A região Centro-Oeste, onde está localizado o estado de Goiás, é a penúltima colocada no ranking das regiões, com 6,5% do total produzido, volume inferior apenas ao Sudeste do país. Goiás responde por apenas 9% do volume de arroz produzido internamente e ocupa a nona posição no ranking nacional (CONAB, 2015a).

Na safra 2015/2016 a área cultivada com arroz no estado de Goiás totalizou 26 mil hectares, com produção de 108,7 mil toneladas. Nos últimos 5 anos, a produção de arroz reduziu aproximadamente 63%, principalmente em razão da diminuição de 33% da área plantada. No entanto, a produtividade aumentou 5% nesse mesmo período, o que indica o potencial da orizicultura estadual.

A ampliação da produtividade no estado está ligada à fixação da cultura em alguns municípios com aptidão para o cultivo irrigado, sendo os principais: Flores de Goiás, São João d'Aliança, Formosa e São Miguel do Araguaia. O cultivo irrigado respondeu por aproximadamente 13.700 hectares, com uma produtividade média de 6.064 kg ha<sup>-1</sup>, na safra 2014/2015 (CONAB, 2016).

Cerca de 80% da produção nacional de arroz é proveniente de áreas de várzeas e se encontram nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Tocantins (IBGE, 2017). No Brasil, há 33 milhões de hectares de várzeas, com topografia e disponibilidade de água propícia à produção de alimentos. No entanto, apenas 3,7% desse total são utilizados para a orizicultura (Guimarães et al., 2006).

Assim, as regiões sob Cerrado apresentam grande potencial para o desenvolvimento do cultivo de arroz irrigado.

## 2.2 SOLOS ALAGADOS TROPICAIS

Os ecossistemas da terra podem ser diferenciados em ecossistemas terrestres e aquáticos. Porém, na interfase entre os dois grupos, existem ecossistemas de transição que são denominados Áreas Úmidas (AUs). Este

grupo pode ser dividido em dois subgrupos: as AUs com nível de água relativamente estável e as AUs com nível de água flutuante (sistemas de pulso de inundação). Nos trópicos e subtropicais, a maior parte das AUs pertence ao grupo das AUs de pulso de inundação. Este grupo inclui mais de 90% das AUs presentes no território brasileiro (Junk et al., 2013).

De modo geral, AUs são ecossistemas específicos, cuja presença, extensão e características estruturais e funcionais dependem das peculiaridades climáticas, hidrológicas e geomorfológicas regionais (Cunha et al., 2015). Porém, de acordo com Junk et al. (2013), não existe uma única, indisputável, ecologicamente correta, definição para AUs, isso resulta, principalmente, da sua grande diversidade e da existência de um contínuo entre ambientes secos, úmidos e aquáticos. Assim, existem várias definições de AUs na literatura.

Em dois de fevereiro de 1971, na cidade iraniana de Ramsar, foi criada uma convenção internacional, a Convenção de Ramsar, com o intuito de proteger os habitats aquáticos importantes para a conservação de aves migratórias. Definiu-se AUs como áreas de diferentes tipos de pântanos, brejos, turfeiras ou de água rasa, tanto naturais quanto artificiais, permanentes ou temporárias, doces, salobras ou salinas, incluindo áreas marinhas até uma profundidade de 6 metros durante a maré baixa (IUCN, 1971). Entretanto, ao longo do tempo, ampliou sua atuação com as demais áreas úmidas de modo a promover sua conservação e uso sustentável, bem como o bem-estar das populações humanas que delas dependem.

No Brasil 13 locais já constam listadas como zonas úmidas de importância internacional, dentre essas os parques nacionais, estaduais, reservas ecológicas públicas e particulares, a Ilha do Bananal, Pantanal Mato-Grossense, entre outras (Ramsar, 2017).

Em decorrência das peculiaridades das AUs brasileiras, diferindo-as de outras regiões do Planeta, os quais apresentam uma alta porcentagem de AUs permanentes com nível de água relativamente estável, as AUs brasileiras podem ser definidas como sendo ecossistemas na interface entre ambientes terrestres e aquáticos, continentais ou costeiros, naturais ou artificiais, permanentemente ou periodicamente inundados por águas rasas ou com solos encharcados, doces,

salobras ou salgadas, com comunidades de plantas e animais adaptadas à sua dinâmica hídrica (Junk et al., 2013).

Assim, com base na dinâmica hidrológica, em parâmetros físicos e químicos, e na composição e estrutura botânica, Junk et al. (2013) propuseram uma chave de classificação que abrange as principais AUs brasileiras. Nessa classificação o ambiente de várzeas está classificado como de áreas úmidas interiores, com nível de água flutuante sujeitas a pulsos de inundações previsíveis, monomodais, e de longa duração e de amplitude alta ao longo de grandes rios.

Na legislação florestal brasileira, Lei 12.651, de 25 de maio de 2012, Art. 3º, áreas úmidas e várzeas são definidas separadamente, com critério específico de identificação, com o objetivo de restringir e diferenciar os instrumentos de proteção entre elas:

XXV - Áreas úmidas: pantanais e superfícies terrestres cobertas de forma periódica por águas, cobertas originalmente por florestas ou outras formas de vegetação adaptadas à inundação.

XXI - várzea de inundação ou planície de inundação: áreas marginais a cursos d'água sujeitas a enchentes e inundações periódicas;

O relevo plano e a posição das AUs na paisagem proporcionam maior tempo de residência da água, imprimindo aos solos dessas regiões características morfológicas, físicas, químicas, biológicas e mineralógicas específicas, relacionadas ao processo pedogenético de hidromorfismo ou gleização (Ponnamperuma, 1972). Este processo proporciona aos solos um predomínio de cores acinzentadas, esverdeadas ou azuladas e esbranquiçadas, refletindo o fenômeno de redução do  $Fe^{3+}$  para  $Fe^{2+}$  ou ausência de ambos. O escurecimento da coloração do solo também se dá pelo acúmulo da matéria orgânica, pois sua decomposição é retardada pelas condições anaeróbicas. Há, também, possível ocorrência de feições de oxidação de ferro localizadas, expressas pela coloração cromática vermelha ou amarelada, denominadas como feições redox mórficas (USDA, 2010).

Devido a grande parte das AUs brasileiras secarem completamente durante a época de seca (águas baixas), a acumulação de material orgânico no solo é baixa, pois nesse período o solo é aerado, e o material orgânico rapidamente oxida, em decorrência das altas temperaturas tropicais (Wantzen et al., 2012). Os solos brasileiros onde hidromorfismo pode ser marcante, na sua maioria são classificados como: Organossolos, Gleissolos, Planossolos, Plintossolos, Espodossolos, Vertissolos, Chernossolos e Neossolos, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

Os solos das AUs, ao longo dos cursos d'água como as várzeas tropicais, sujeitas a enchentes e inundações periódicas, de modo geral apresentam naturalmente baixa profundidade efetiva, densidade do solo alta, baixa porosidade, elevada relação micro/macroporos, baixa velocidade de infiltração, drenagem deficiente, baixa capacidade de aeração e com fertilidade natural média a baixa (Lima et al., 2003). São fontes, sumidouros e transformadores de nutrientes e carbono, contribuindo assim para a estabilidade global de dióxido de carbono, metano e enxofre na atmosfera (Kirk, 2004). Assim, os solos de várzeas geralmente estão associados a solos hidromórficos e ao afloramento do lençol freático.

A inundação dos solos altera seu equilíbrio anterior, de um solo aerado, desencadeando uma série de alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que levam esses ambientes a um novo equilíbrio (Sousa et al., 2000).

Com o alagamento do solo, o suprimento do  $O_2$  para o seu interior torna-se extremamente lento devido a sua baixa taxa de difusão em água (Sousa et al., 2009). Nessa condição, os microrganismos aeróbicos consomem rapidamente o oxigênio remanescente, tornam-se inativos ou morrem (Ponnamperuma, 1972), a respiração radicular também acelera a diminuição do  $O_2$  do solo alagado. O ambiente, então, passa a ser favorável à proliferação de microrganismos anaeróbios facultativos e obrigatórios que utilizam compostos oxidados do solo como receptores de elétrons para sua respiração, sendo por sua vez reduzidos. Os compostos oxidados podem ser inorgânicos (respiração anaeróbia) ou orgânicos (fermentação) (Sousa et al., 2009).

Contudo, nem todo o perfil do solo alagado é desprovido de  $O_2$ . Com a estabilização da redução do solo a atividade microbiana diminui e o oxigênio atmosférico, através da lâmina de água, pode se difundir até alguns centímetros da superfície do solo, desenvolvendo-se uma fina camada oxidada. Outra região que também se apresenta oxidada é a rizosfera, devido ao transporte do oxigênio atmosférico desde a parte aérea até o sistema radicular via aerênquima ou espaços intercelulares (Ponnamperuma, 1972). Tal heterogeneidade das condições de oxirredução faz com que ocorra, simultaneamente, respiração aeróbia e anaeróbia nos solos alagados (Sousa et al., 2000).

A utilização dos compostos oxidados do solo pelos microrganismos obedece a uma sequência, sendo que primeiramente são reduzidos os compostos que apresentam maior afinidade em receber elétrons. O nitrato é o primeiro a ser reduzido por desnitrificação (de  $NO_3^-$  para  $N_2O$  e  $N_2$ ), seguido do manganês (de  $MnO_2$  para  $Mn^{2+}$ ), dos óxidos de ferro ( $Fe^{3+}$  para  $Fe^{2+}$ ), sulfato (de  $SO_4^{2-}$  para  $H_2S$  ou  $HS^-$ ) (Ponnamperuma, 1972; Sousa et al., 2009).

O estado de redução do solo é obtido por meio do potencial redox (Eh). O Eh constitui uma medida de intensidade, expressando essencialmente a disponibilidade, em vez da quantidade de elétrons envolvidos nos sistemas redox. O Eh representa o parâmetro físico-químico mais importante na caracterização do grau de oxidação ou redução de um solo inundado (Oliveira et al., 1993). Quanto mais baixo for o Eh, maior é a concentração de substâncias reduzidas, ou seja, maior é o estado de redução do solo (Sousa et al., 2009).

Nas primeiras horas de alagamento, o Eh apresenta-se entre +300 e +500 mV, que são valores semelhantes a solo oxidado. A medida que o metabolismo anaeróbio se intensifica, o Eh vai diminuindo, podendo atingir valores negativos em poucos dias (Sousa et al., 2000).

O pH dos solos alagados é condicionado pelas reações de oxirredução e pelo acúmulo de  $CO_2$ , ocorrendo variações com tendência a neutralidade (Camargo et al., 1999). Em solos ácidos o pH aumenta, pois, as reações de oxirredução ocorrem sempre com consumo de prótons  $H^+$ , ao passo que em solos alcalinos há tendência de decréscimo do pH devido a acumulação de  $CO_2$  (Ponnamperuma, 1972).

As alterações que acompanham a inundação ou a submersão do solo afetam significativamente a produtividade das culturas. Pois o alagamento proporciona alterações no sistema, tais como aumento na disponibilidade de P, Fe e Mn e diminuição da disponibilidade de Zn, Cu e aumento excessivo de  $\text{Fe}^{2+}$  e formação de  $\text{H}_2\text{S}$  e ácidos orgânicos (Camargo et al., 1999; De-Campos, 2006).

Cátions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ) e ânions ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Br}^-$ ), estão adsorvidos nas superfícies das partículas minerais e orgânicas do solo por forças de atração eletrostática ("long range forces"), ou seja, com baixa energia de interação, sendo facilmente deslocados dos sítios de adsorção por outros cátions e ânions presentes na solução do solo (Sousa et al., 2000).

Com o alagamento os cátions, o  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  tem a solubilidade aumentada, pois são deslocados para a solução do solo pelo manganês e, principalmente, pelo ferro, que ocupa proporção considerável dos sítios de troca em função de sua alta concentração, aumentando a disponibilidade destes nutrientes para as plantas. No processo de redução do  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$  uma parte do fósforo retido por adsorção ou ligação química específica é liberada, o que pode aumentar sua concentração na solução do solo nas primeiras semanas de alagamento (Sousa et al., 2009).

Cátions metálicos, como o  $\text{Cu}^{2+}$  e o  $\text{Zn}^{2+}$ , assim como ânions, fosfato e o molibdato podem ser adsorvidos ao solo por ligações covalentes e iônicas ("short range forces"), denominada de adsorção específica, ou seja, não há nenhuma molécula de água entre o grupo funcional de superfície e o íon ou molécula ligante, ocorre uma ligação direta, apresentando maior energia de interação que a atração eletrostática. Tal ligação reduz a mobilidade destes no perfil do solo. O Cu e o Zn têm facilidade de formar compostos de baixa solubilidade, como hidróxido, carbonatos e sulfetos, bem como apresentar alta capacidade de ligar-se fortemente à matéria orgânica do solo, o que pode explicar, em parte, a diminuição na concentração desses elementos na solução do solo alagado (Camargo et al., 1999).

Com a inundação do solo seco, há expulsão do ar do solo e os agregados ficam saturados com água. Durante esse processo, a pressão interna do ar rompe os agregados maiores (Baver et al 1972). O inchaço dos colóides e a dissolução de agentes de cimentação, tais como óxido de ferro, diminuem a

estabilidade dos agregados (Sanchez, 1976) em água. Na secagem do solo os íons de Fe e Mn na sua forma reduzida passam para forma oxidada, formando maior quantidade de microagregados, que possuem menor quantidade de poros intra-agregados (Bamberg et al., 2009). Essa reagregação ocorre através da fissuração do solo e da cimentação por óxidos de ferro (Ponnamperuma, 1972).

Os ciclos de umedecimento e secagem aos quais os solos são submetidos favorecem o aumento da densidade do solo, pois as partículas finas do solo acomodam-se nos espaços porosos, diminuindo a porosidade total, ocorrendo contração do solo. A densidade do solo, no entanto, pode aumentar quando o solo ainda está submerso, devido à sedimentação de partículas. As partículas podem assentar e consolidar devido à flocculação de argila dispersa, de acordo com a textura do solo e tipo de argila. O assentamento é mais rápido em solos arenosos com mineralogia caulinita (Bhagat, 2003).

Nota-se, portanto, que o alagamento desencadeia uma série de alterações nas propriedades físicas do solo, como a quebra dos agregados, mudanças na dinâmica do espaço poroso do solo, aumento da densidade e conseqüentemente nas propriedades hidráulicas do solo e nas trocas gasosas deste. Essas alterações podem ser acentuadas pelo uso antrópico, devido ao tráfego de máquinas agrícolas e pisoteio de animais.

### 2.3 ARROZ IRRIGADO

O arroz pertence à divisão *Angiospermae*, classe *Liliopsida* (*monocotyledonae*), ordem *Poales*, família *Poaceae* (*Gramineae*), subfamília *Oryzoideae*, e gênero *Oryza* (Vaughan, 1994). Conforme Zanini Neto (1997), o gênero *Oryza* possui 25 espécies, desde perenes a anuais. No entanto, ainda há controvérsias entre os pesquisadores quanto ao número de espécies reconhecidas. Das espécies existentes, somente duas são cultivadas, *O. sativa*, do Sudoeste Asiático, que foi amplamente distribuída por todas as regiões tropicais e temperadas do mundo, e o *O. glaberrima*, circunscrita à África Ocidental (Rangel, 1998). Conforme Glaszmann (1987) há duas subespécies de arroz, *Indica* e *Japonica*. No Brasil a maioria das cultivares de arroz irrigado pertence a subespécie *Indica* (Khush, 1997).

É considerada planta semi-aquática que pode viver tanto em clima tropical como subtropical (Fageria, 2006). Em regiões tropicais, pode sobreviver como planta perene, produzindo novos perfilhos após a colheita. Desenvolve-se tanto em condições de solo alagado como em solo seco (Magalhães Junior et al., 2004). Essa adaptação ao ambiente aquático deve-se à presença de aerênquimas no colmo e nas raízes da planta, que possibilitam a passagem de oxigênio do ar para a rizosfera (SOSBAI, 2016). É uma das poucas espécies cultivadas comercialmente que pode germinar e se desenvolver em solos permanentemente encharcados (Fageria, 2006).

O arroz pode ser dividido em órgãos vegetativos, compreendendo raízes, colmos e folhas, e órgãos reprodutivos, constituídos pelas flores e sementes que estão na panícula (Magalhães Junior et al., 2004). O sistema radicular é formado basicamente de raízes adventícias (Guimarães et al., 2002). A planta apresenta um colmo principal e vários colmos primários e secundários, denominados de perfilhos (Chang & Bardenas, 1965), constituído por nós e entrenós, envolvido pela bainha antes da floração, mas com pequena parte exposta abaixo da panícula após a floração. O comprimento, diâmetro e espessura dos entrenós determinam a resistência da planta ao acamamento (Guimarães et al., 2002). As folhas podem apresentar pêlos ou não, sendo então classificadas em pilosas ou lisas. No ápice do colmo está localizada a inflorescência da planta de arroz, denominada de panícula (Magalhães Junior et al., 2004).

### **2.3.1 Importância econômica**

O arroz é um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana, sendo a base alimentar de mais de três bilhões de pessoas. É o segundo cereal mais cultivado no mundo, ocupando área aproximada de 168 milhões de hectares. A produção de cerca de 741,0 milhões de toneladas de grãos em casca corresponde a 29% do total de grãos usados na alimentação humana (SOSBAI, 2016). No entanto, o arroz destaca-se não somente como importante fonte de alimento, mas também por apresentar excelente qualidade nutricional, sendo

fonte de energia, proteínas, vitaminas e minerais. O consumo de arroz supre 20% das calorias consumidas na alimentação humana no mundo (Walter et al., 2008).

Além de configurar como uma excelente fonte nutricional é uma cultura extremamente rústica, que se desenvolve tanto em condições de sequeiro quanto de inundação, desempenhando um papel estratégico na solução de questões de segurança alimentar do mundo (SOSBAI, 2016)

Mais de 90% de todo arroz do mundo é cultivado e consumido na Ásia, onde 60% da população mundial vive (FAO, 2016), sendo cultivado com irrigação por inundação (Guimarães et al., 2006). Neste continente estão localizados os oito maiores produtores mundiais de arroz, China, Índia, Indonésia, Vietnã, Tailândia, Bangladesh, Myanmar, Filipinas, seguidos pelo Brasil e Japão (FAO, 2016; SOSBAI, 2016). Apesar de ocupar a primeira posição quanto à produção mundial de arroz, a China não participa de forma ativa no comércio internacional, sendo sua produção fortemente controlada pelo governo, que busca o equilíbrio entre a oferta e a demanda interna (CONAB, 2015b).

No Brasil, o arroz é cultivado por pequenos e grandes produtores em todos os estados da federação e abrange dois grandes sistemas de cultivo: o de terras altas ou de sequeiro, com ou sem irrigação suplementar; e o de terras baixas ou várzeas de inundação, sistematizadas ou não (Prabhu & Filippi, 2006). É o terceiro cereal mais produzido, atrás somente da soja e do milho (IBGE, 2017). Com produção de 10,6 milhões de toneladas na safra 2015/2016, o Brasil continua como nono maior produtor no *ranking* mundial de cultivo arroz, e o maior produtor fora do continente asiático, responde por 77,90% da produção da América Latina (IBGE, 2017).

A produção brasileira de arroz encontra-se concentrada na Região Sul, sendo responsável por em torno de 80% do total produzido no Brasil, merecendo destaque o estado do Rio Grande do Sul, maior produtor nacional representando, aproximadamente, 70% da produção nacional (IBGE, 2017; SOSBAI, 2016), sendo produzido, essencialmente, no sistema de várzeas irrigadas (inundação).

### **2.3.2 Nitrogênio em arroz irrigado**

O nitrogênio (N) desempenha importante papel estrutural no metabolismo

vegetal, constituindo muitos componentes da célula, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas e pigmentos (Taiz & Zeiger, 2013). As plantas requerem nitrogênio em quantidade superior a quase qualquer outro elemento mineral, e a disponibilidade deste nutriente limita a produtividade das plantas em muitos ecossistemas naturais e agrícolas (Epstein & Bloom, 2006), e depois do K, o N é o nutriente que a planta de arroz mais acumula (Fageria et al., 2003). É um constituinte da clorofila, aumenta a área foliar da planta, a qual aumenta a eficiência de interceptação da radiação solar e a taxa fotossintética e, conseqüentemente, a produtividade de grãos (Fageria et al., 2003).

No arroz, o N proporciona incremento na altura das plantas, no perfilhamento, que pode variar de 66 a 96% e, conseqüentemente, o número e comprimento de panículas e a produtividade (Fageria, 2013). Aumenta também o número e o tamanho dos grãos, o teor de proteínas (Barbosa Filho, 1987), e estimula o crescimento do sistema radicular da planta (Fornasieri Filho & Fornasieri, 1993). O fornecimento de N pode ou não reduzir a esterilidade das espiguetas em genótipos de arroz irrigado, dependendo do genótipo (Fageria, 2013).

As principais formas de absorção de N pelas plantas são o  $\text{NH}_4^+$  e o  $\text{NO}_3^-$ . Nos solos alagados, o ambiente anaeróbio e quimicamente reduzido favorece o acúmulo do íon  $\text{NH}_4^+$  devido ao processo de nitrificação ser barrado em decorrência da ausência de  $\text{O}_2$ , sendo essa a principal forma de N absorvida pelo arroz irrigado. A taxa de absorção de  $\text{NH}_4^+$  é de 5 a 20 vezes mais rápida que a de  $\text{NO}_3^-$  (Fageria et al., 2003). A assimilação do  $\text{NH}_4^+$  também é favorecida em relação ao  $\text{NO}_3^-$ , porque a sua forma iônica dispensa a necessidade de redução química na célula. Por encontrar-se prontamente assimilável pelas enzimas, a absorção do  $\text{NH}_4^+$  possui maior eficiência energética, pois sua absorção demanda menos energia pelas plantas (Fageria et al., 2013). O  $\text{NO}_3^-$ , por sua vez, tem sua disponibilidade reduzida no solo alagado, por ser rapidamente convertido em formas voláteis ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{N}_2$ ) nas zonas anaeróbias do solo, e perdido para a atmosfera (Ponnamperuma, 1972).

Assim, o N é o principal nutriente limitante na produção das lavouras, inclusive do arroz irrigado (Fageria, 2013). A planta de arroz é bastante exigente

em nutrientes, sendo necessário que eles estejam prontamente disponíveis nos momentos de demanda para não limitar a produtividade.

O principal fornecedor de N para a planta de arroz é o próprio solo (N nativo), que aporta entre 50 e 90 % do requerimento total (Fageria, 2013). No entanto, para obtenção de altas produtividades é necessário o suprimento do N no solo por meio das adubações minerais ou orgânicas (Doberman & Fairhurst, 2000) ou por meio da fixação biológica de N<sub>2</sub> da atmosfera (FBN).

A maioria dos fertilizantes utilizados na lavoura arrozeira é de origem mineral e solúvel. As principais fontes nitrogenadas são: a ureia (amídica), com 45% de N, e o sulfato de amônio (amoniacal), com 20% de N (SOSBAI, 2016). A forma nítrica não é recomendada, pois o nitrato é instável em ambientes com baixa concentração de oxigênio e se perde por desnitrificação (George et al., 1993). Como adubos simples contendo dois nutrientes têm-se o fosfato monoamônico (MAP), com 9% de N e 48% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e o fosfato diamônico (DAP), com 16% de N e 45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (SOSBAI, 2016). A ureia, pelo seu elevado conteúdo de N e pelo baixo custo por unidade de nutriente, destaca-se como o fertilizante nitrogenado mais utilizado nas lavouras de arroz irrigado (Knoblauch, 2011; Fageria, 2013), além de ser compatível com um grande número de fertilizantes e defensivos (Cantarella, 2007).

A eficiência de recuperação de N pelo arroz inundado está em torno de 40% em solo de várzea, desse modo, o uso racional da adubação nitrogenada é fundamental, não somente para aumentar a eficiência de recuperação, mas também para aumentar a produtividade das culturas e diminuir o custo de produção e os riscos de poluição ambiental (Fageria et al., 2003). O N é um elemento que se perde facilmente por lixiviação, volatilização e desnitrificação no solo, o manejo adequado da adubação é um dos mais difíceis (Fageria, 2006).

Uma avaliação simplista do grau de disponibilidade de N é baseada na análise de matéria orgânica do solo, pois o N disponível no solo é praticamente todo proveniente da decomposição e mineralização da matéria orgânica, realizada por microrganismos que transformam o N orgânico nas formas amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e nítrica (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), aproveitáveis pelas plantas (Scivittaro & Machado, 2004). Deste modo, a recomendação da quantidade a ser aplicado de N na cultura tem como base o teor de matéria orgânica do solo, além de levar em consideração a

expectativa de resposta à adubação nitrogenada e o histórico da área (SOSBAI, 2016). Em regiões do meio sul dos Estados Unidos, as doses recomendadas são estabelecidas por cada estado e levam em consideração os resultados de vários ensaios realizados na área quanto à resposta de N, que são próprios para variedades específicas, sistemas de manejo e tipo de solo (Harrell et al., 2011).

Quanto à época de aplicação, em experimentos conduzidos em diversos locais de clima tropical, as maiores produtividades de grãos foram verificadas quando o N foi aplicado na semeadura, juntamente com o fósforo e potássio, e em duas coberturas, ou seja, por ocasião do perfilhamento ativo, cerca de 45 dias após a emergência das plântulas (DAE) e na diferenciação do primórdio floral, aproximadamente aos 65 DAE, dependendo da cultivar (Santos et al., 2008). O parcelamento é uma forma de reduzir as perdas e maximizar a eficiência do uso do N (SOSBAI, 2016).

A adição de inibidores de urease e de nitrificação à ureia convencional e o uso de outros fertilizantes nitrogenados de liberação lenta de N representam um grupo de fertilizantes nitrogenados promissores. Inibidores de urease são compostos que, quando adicionados à ureia, diminuem a atividade da urease, retardando a hidrólise da ureia, o que reduz as perdas por volatilização de amônia e aumenta o aproveitamento de N pelas plantas. Inibidores de nitrificação são compostos adicionados aos fertilizantes amílicos ou amoniacais com o objetivo de retardar a atividade das bactérias nitrificadoras, que oxidam o amônio a nitrato. Alguns desses fertilizantes de liberação lenta de N, especialmente os produtos a base de Sulfonitrato de amônio, vêm sendo utilizados com resultados promissores em lavouras de arroz irrigado (Grohs, 2009).

Há uma ampla gama de substâncias e produtos de natureza orgânica, que podem ser utilizados como fontes de nutrientes para o arroz irrigado, como os compostos, vermicompostos, biofertilizantes e outros resíduos de origem vegetal (adubos verdes, palhada de culturas, etc.) ou animal (esterco, camas, urina, etc.), compostos de lixo doméstico, resíduos de biodigestores e de lagoas de decantação e de fermentação, bem como biomassa pirolisada (*biochar*) (SOSBAI, 2016).

O cultivo de plantas leguminosas fixadoras de N consiste em alternativa viável. Porém, as lavouras de arroz normalmente se encontram em

baixadas, em solos de difícil drenagem, tornando o cultivo de leguminosas, na entressafra, muito difícil. Os dejetos animais, também, representam uma alternativa viável que vem sendo utilizada pelos produtores de arroz pois, ao serem mineralizados, os resíduos orgânicos liberam alguns elementos minerais de forma semelhante aos fertilizantes químicos. Além disso, por tratar-se de solos alagados, há o risco da poluição dos mananciais por contaminantes biológicos como bactérias e fungos, além dos antibióticos e hormônios (Knoblauch, 2011), necessitando, assim, de estudos adicionais para solucionar tais gargalos.

Outra solução promissora aos fertilizantes nitrogenados minerais no cultivo de arroz inundado é o uso das cianobactérias e algumas estirpes de *Azobacter* e *Azospirillum* (Scivittaro, 2006). Essas bactérias são capazes de reduzir o nitrogênio atmosférico, tornando-o assimilável pelas plantas, processo este também conhecido como fixação biológica de nitrogênio (FBN) (Liu et al., 2008).

## 2.4 DINÂMICA DO NITROGÊNIO

O nitrogênio é o gás mais abundante do planeta e, em sua forma molecular ( $N_2$ ), constitui 78% da atmosfera terrestre (Cantarella, 2007). A contribuição deste elemento para a massa total dos sistemas vivos é menor somente que as respectivas contribuições do carbono, hidrogênio e oxigênio. Sendo, por sua vez, um elemento fundamental para a manutenção da vida, por fazer parte da constituição de proteínas, ácidos nucleicos, peptídeos, glicanos, aminoácidos e outras biomoléculas (Young, 1992).

Apesar da abundância na atmosfera, o  $N_2$  é indisponível para a maioria dos seres vivos, devendo ser reduzido a amônio, a fim de ser assimilado pelos organismos para a síntese de proteínas (Malavolta & Morais, 2006). A indisponibilidade é decorrente da alta estabilidade da ligação covalente do nitrogênio molecular ( $N\equiv N$ ). A quebra desta ligação tripla tem um custo energético alto, o que restringe este processo a poucos grupos de microrganismos procariotos (Moreira & Siqueira, 2006).

A entrada do nitrogênio nos ecossistemas se dá por meio das descargas elétricas, atividades vulcânicas, fixação industrial e biológica. Na

fixação industrial, em temperaturas de 300 a 400°C, a queima do petróleo fornece a energia necessária para a reação do hidrogênio com o N para formar amônia (processo Haber-Bosch), que pode ser utilizada diretamente como fertilizante ou na produção de outros compostos nitrogenados, como a ureia (Cordeiro, 2004). No entanto, a FBN é a maior responsável pela entrada do elemento no solo (Malavolta & Morais, 2006), sendo realizada por microrganismos procariontes (bactérias) que possuem o sistema enzimático necessário para reduzir o N molecular à amônia. Esses microrganismos podem ser de vida livre ou simbiótica (Cordeiro, 2004).

Assim, na biosfera terrestre o N encontra-se combinado, nas formas inorgânicas ou orgânicas. As sucessivas transformações dessas formas por meio de processos físico-químicos e biológicos constitui o ciclo do N, que envolve uma série de reações de oxirredução, nas quais os procariontes desempenham o papel principal (Cordeiro, 2004). Tais transformações do N resultam em sua entrada ou saída do sistema solo-planta.

Os solos normalmente apresentam teores totais de N variando de 0,1 a 0,6% (Cameron et al., 2013), cerca de 95 a 98% do N total é encontrado na forma orgânica e, portanto, a matéria orgânica é o principal reservatório de N do solo (Damin & Silva, 2016), sendo somente uma pequena parte mineralizada pela microbiota do solo durante o ciclo de uma determinada cultura, a qual poderá ser diretamente disponível às plantas (Camargo et al., 1999) ou seja, na forma inorgânica que corresponde somente 2 a 5% do N total do solo. Dentre as formas inorgânicas, destaca-se o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxido nítrico (NO) e nitrogênio elementar ( $\text{N}_2$ ) (Damin & Silva, 2016).

Com isso, a mineralização do N-orgânico constitui o primeiro e importante passo para a disponibilidade do nitrogênio para as plantas e microrganismos do solo, pois este processo converte o N-orgânico, presente na matéria orgânica, em N-inorgânico (íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ )), por meio de microrganismos heterotróficos do solo (Novais et al., 2007). Como segundo processo, tem-se a retenção do N-inorgânico ( $\text{NH}_4^+$ ) pela biomassa do solo, sendo este um processo que ocorre simultaneamente com a mineralização, em que o balanço entre mineralização e imobilização depende de uma série de

fatores, como o pH do solo e da umidade, temperatura, arejamento do solo e da relação carbono/nitrogênio (Fracetto, 2013).

O N na forma amoniacal geralmente sofre um processo definido como nitrificação, que consiste na oxidação do amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e posteriormente a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), mediado, geralmente, por microrganismos quimilitotróficos. Esse é um processo que se dá em duas etapas distintas: a nitrificação, oxidação do amônio a nitrito, realizada, principalmente, pelas bactérias *Nitrossomonas*, e a nitratação, conversão de nitrito a nitrato, realizada, principalmente, pelas bactérias *Nitrobacter* (Moreira & Siqueira, 2006).

O nitrato formado no processo de nitrificação pode ser absorvido pelos vegetais ou ser utilizado por bactérias heterotróficas e anaeróbicas facultativas na sua respiração ou, ainda, ser lixiviado no solo.

A desnitrificação é o processo de redução do nitrato a nitrogênio molecular. Esta reação está associada com a liberação de óxido nítrico (NO) e de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). O nitrato é utilizado como receptor final de elétrons no processo de respiração anaeróbica (Cantarella, 2007). É o principal processo biológico pelo qual o N reativo retorna à atmosfera na forma de  $\text{N}_2$  quando o processo é completo, ou como NO e  $\text{N}_2\text{O}$ , quando o processo é incompleto (Signor & Cerri, 2013).

O processo de desnitrificação requer simultaneamente um meio anóxico (ou subóxico,  $< 0,2 \text{ mg L}^{-1} \text{ O}_2$ ), e disponibilidade de matéria orgânica e nitrato (Mosier et al., 2002), como por exemplo, em microssítios de anaerobiose no interior dos agregados em solos com alto teor de umidade, ocasionando aumento na quantidade de espaço poroso ocupado por água e consequente diminuição no  $\text{O}_2$  disponível (Jantalia et al., 2006) e em solos alagados.

A desnitrificação e, o processo anammox (abreviação para ANaerobic AMMonium OXidation (oxidação anaeróbia de amônio a nitrogênio molecular, com a utilização de nitrito como acceptor final de elétrons) fecham o ciclo do nitrogênio, reciclando nitrato à dinitrogênio (Otte et al., 1999).

De modo geral, as principais vias de entrada do N nos agroecossistemas são a FBN e os fertilizantes nitrogenados, enquanto, as principais vias de saída são a volatilização de amônia do solo e das folhas, a lixiviação do N e as emissões de  $\text{N}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}$  (Damin & Silva, 2016).

## 2.5 DINÂMICA DO CARBONO

O carbono é fundamental para a vida, sendo o principal elemento químico constituinte da matéria orgânica, incluindo desde combustíveis fósseis até moléculas complexas (DNA e RNA) que controlam a genética nos organismos. É o quarto elemento mais abundante no Universo, depois de hidrogênio, hélio e oxigênio (Schlesinger, 1997).

O carbono do planeta está distribuído em quatro principais compartimentos: oceanos, atmosfera ( $\text{CO}_2$ , CO e  $\text{CH}_4$ ), formações geológicas, contendo carbono fóssil e mineral, e ecossistemas terrestres (biota + solo) (Machado, 2005). Os fluxos ocorrem principalmente entre a atmosfera, oceanos e biosfera terrestre, tendo a atmosfera papel intermediário. As fontes de carbono da atmosfera são decorrentes da atividade humana por meio da queima de combustíveis fósseis, erupções vulcânicas e o saldo das trocas da atmosfera com os biomas terrestres e oceanos. O  $\text{CO}_2$  desaparece da atmosfera pelo processo de absorção pelos oceanos e biomassa (Pacheco & Helene, 1990).

A atividade fotossintética das plantas, das algas e de algumas bactérias promove a conversão e o armazenamento da energia solar em moléculas orgânicas ricas em energia, a partir de moléculas inorgânicas simples, como o  $\text{CO}_2$  e a  $\text{H}_2\text{O}$  e os carboidratos (Majerowicz, 2004). Ou seja, por meio da fotossíntese o  $\text{CO}_2$  atmosférico é incorporado aos tecidos vegetais. Portanto, estes seres, em especial os vegetais, fixam o carbono atmosférico que chegará ao solo como resíduos vegetais e animais e retornará pelo processo de respiração biológica (Machado, 2005). Assim, nos ecossistemas terrestres, a principal troca de carbono entre a terra e a atmosfera resulta dos processos de fotossíntese e respiração (Tonello, 2007).

Estima-se que a quantidade de carbono acumulado no solo seja de  $25 \cdot 10^{11}$  Mg, correspondendo a, aproximadamente, quatro vezes o compartimento de carbono da biota terrestre (plantas e animais) e 3,3 vezes o da atmosfera. Os oceanos e carbono geológico participam com  $384 \cdot 10^{11}$  Mg e  $413 \cdot 10^{10}$  Mg respectivamente. Entretanto, o solo é o reservatório mais fácil de manejar, devido a incorporação do carbono da atmosfera. No solo a maior proporção encontra-se

na forma orgânica, cerca de  $155 \cdot 10^{10}$  Mg, enquanto  $95 \cdot 10^{10}$  Mg estão na forma inorgânica, razão pela qual a matéria orgânica do solo (MOS) tem sido sugerida como potencial fonte e dreno para o carbono atmosférico (Lal, 2008). Considerando-se apenas a camada 0-30 cm de profundidade, o solo responde por um estoque aproximado de  $80 \cdot 10^{10}$  Mg de carbono (Cerri et al., 2006).

O carbono orgânico do solo (COS) pode ocorrer na forma dissolvida, coloidal ou como carbono orgânico particulado (Dieckow et al., 2004). A proteção do COS humificado e solúvel é conferida pela sua ligação com a fração argila, formando complexos orgânico-mineral no solo, enquanto os agregados exercem uma proteção física do COS particulado ao ataque microbiano (mineralização da MOS) (Zinn et al., 2007). Assim, o potencial de estocar carbono em um solo depende das suas características físicas, como textura e estrutura, bem como do manejo do solo. Assad et al. (2013) relatam que mudanças no uso do solo podem alterar a dinâmica da matéria orgânica.

Solos são ecossistemas frágeis, e quando mal manejados, o COS pode ser mineralizado e transferido para a atmosfera na forma de  $\text{CO}_2$ . No entanto, sob condições adequadas de manejo, o sistema pode sequestrar C da atmosfera, sendo esta uma importante estratégia regional e global para compensar as emissões de  $\text{CO}_2$  provenientes do uso de combustíveis fósseis e mitigar as mudanças climáticas (Cerri, et al., 2006).

A redução na intensidade de movimentação do solo para o cultivo, a manutenção dos resíduos culturais no campo, a eliminação de pousio não vegetado e a melhoria no manejo dos recursos hídricos (Hermle et al., 2008) são práticas que podem aumentar os estoques de C e, simultaneamente, mitigar as emissões dos GEE (Zinn et al., 2007).

## 2.6 EMISSÃO DE GEE PELA ATIVIDADE AGRÍCOLA

A atmosfera terrestre é composta por diferentes gases e partículas. A parte gasosa é constituída principalmente por nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) (78%), oxigênio ( $\text{O}_2$ ) (21%) e gases traço (1%) (Le Treut et al., 2007). Esses gases são responsáveis pelo fenômeno climático natural conhecido como efeito estufa, responsável pela manutenção da temperatura média da superfície da terra, que é

de, aproximadamente, 15°C (Baird, 2002), temperatura ideal para sobrevivência das formas de vida existentes no Planeta. Para entender como isso acontece, é preciso saber que de toda a radiação solar (ondas curtas) que atinge a porção superior da atmosfera, cerca de 50% é absorvida pela superfície do planeta, 20% é absorvida por gases e pelas gotículas de água presentes no ar. O restante, cerca de 30%, é refletida de volta ao espaço por corpos refletivos (neve, gelo, areia, nuvens) (Zanatta, 2009).

A energia absorvida pela superfície é convertida em radiação de calor, na forma de ondas longas infravermelhas, e liberadas da superfície terrestre. Alguns gases presentes no ar podem absorver, temporariamente, a luz infravermelha térmica em comprimentos de ondas específicos, o que sugere que nem toda energia liberada da terra escapa para o espaço. A luz absorvida por estas moléculas gasosas é reemitida em todas as direções de modo completamente aleatório, resultando na reabsorção de energia e provocando o aquecimento tanto da superfície da terra quanto do ar (Signor & Cerri, 2013). Se não houvesse essa absorção da radiação pelos gases presentes na atmosfera, a Terra teria uma temperatura média de aproximadamente -18°C (Primavesi, 2007).

Entretanto, a problemática decorrente do aumento da concentração dos gases-traço está intensificando o efeito estufa natural, causando preocupações entre a comunidade científica. Dentre os GEE, o N<sub>2</sub>O, o CO<sub>2</sub> (gás carbônico), o CH<sub>4</sub> (metano) e os CFCs (clorofluorcarbonetos) são produzidos pela atividade humana, sendo os três primeiros relacionados à atividade agrícola (IPCC, 2014).

Cada GEE apresenta uma capacidade de aquecimento em função de suas características moleculares e de seu tempo de permanência na atmosfera terrestre (Gomes, 2006). Baseado nisto, é calculado o potencial de aquecimento global (PAG) de cada GEE considerando o CO<sub>2</sub> como referência. O N<sub>2</sub>O e o CH<sub>4</sub> apresentam PAG, para um período de 100 anos, de 265 e 28 vezes a unidade de massa de CO<sub>2</sub>, respectivamente (IPCC, 2014).

O aumento nas concentrações do GEE na atmosfera, por ação antrópica, está associado à queima de combustíveis fósseis, a mudança de uso da terra e as atividades agropecuárias (MCTI, 2014). A emissão de GEE tornou-

se marcante a partir da revolução industrial, em meados do século XVIII, promovendo um efeito estufa adicional (Costa et al., 2008).

Estima-se que cerca de um quarto das emissões antropogênicas de GEE sejam oriundas da agropecuária em conjunto com o setor de mudança do uso da terra. A contribuição ocorre, principalmente, pelo desmatamento, cultivo de arroz irrigado, fermentação entérica, manejo dos solos (decomposição da matéria orgânica do solo) e uso de fertilizantes minerais (IPCC, 2014). No Brasil, cerca de 77% das emissões de CO<sub>2</sub>, 91% das emissões de N<sub>2</sub>O e 87% das emissões de CH<sub>4</sub>, são provenientes da agropecuária e mudança do uso da terra (MCT, 2010), sendo que no setor agropecuária o N<sub>2</sub>O e o CH<sub>4</sub> contribuem com 38% e 62% respectivamente, em termos de CO<sub>2</sub>eq (MTCI, 2014).

O solo é considerado o maior reservatório temporário de carbono no ecossistema. E a perda de C orgânico do solo pode ser atribuída à redução nas entradas de matéria orgânica, ao aumento da decomposição de resíduos culturais e ao efeito de práticas de manejo que reduzem a proteção física dos agregados à decomposição (Cerri et al., 2006). Práticas como o desflorestamento, preparo do solo, calagem e irrigação, tem causado decréscimo no teor de carbono no solo, decorrente do aumento da taxa de mineralização da matéria orgânica do solo. Além dessas práticas, a temperatura do ar e do solo e o teor de umidade do solo afetam as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (Read et al., 2001), que são dependentes do manejo do sistema.

As emissões de N<sub>2</sub>O em sistemas agrícolas provêm, principalmente, do uso de fertilizantes nitrogenados, da mineralização da matéria orgânica, da adição ou depósito de dejetos animais nos solos, da lixiviação e da queima de resíduos agrícolas (Lima, 2002). No solo, a maioria do N<sub>2</sub>O é produzido pelos processos de nitrificação e desnitrificação, embora o gás não seja o principal produto final desses processos (Giacomini, 2005). A nitrificação requer condições aeróbicas e está diretamente relacionada ao suprimento de amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), sendo mediada, principalmente, por bactérias autotróficas, enquanto a desnitrificação é realizada por bactérias heterotróficas anaeróbicas facultativas que dependem da disponibilidade de carbono orgânico e nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), e é intensificada em ambientes ou sítios anaeróbicos (Moreira & Siqueira, 2006).

Ambos os processos podem ocorrer simultaneamente no solo, pois no interior dos agregados podem desenvolver-se microssítios de aerobiose e anaerobiose (Giacomini et al., 2006). Apesar da produção de N<sub>2</sub>O por nitrificação ser possível, os picos de emissão de N<sub>2</sub>O nos solos em geral são atribuídos ao processo de desnitrificação (Bell, et al., 2015). Alguns fatores são determinantes na emissão do N<sub>2</sub>O, tais como a temperatura, pH, presença de amônio e nitrato, matéria orgânica, porosidade e umidade do solo. No entanto, o fator predominante é o espaço poroso ocupado por água ou porosidade preenchida pela água (PPA), aliado à temperatura. Solos aerados apresentam um PPA entre 35 e 60% que propiciam a formação de N<sub>2</sub>O como um subproduto da nitrificação. Em PPA >70%, a desnitrificação é facilitada (Jantalia et al., 2006).

Além de contribuir com o efeito estufa adicional, o N<sub>2</sub>O também provoca a destruição da camada de ozônio (Crutzen, 1981), o que pode causar problemas relacionados à saúde humana.

No Brasil, o setor agropecuário é o maior responsável pelas emissões de CH<sub>4</sub> (MCT, 2010), sendo as principais fontes de emissão decorrentes de solos naturalmente inundados, lavouras de arroz irrigado, fermentação entérica, gás natural, queima de biomassa, atividade de cupins, aterros de lixo, minas de carvão e oceanos (Milich, 1999). Em torno de 9 a 11% das emissões totais de CH<sub>4</sub> são oriundas das lavouras de arroz irrigado (IPCC, 2014).

### **2.6.1 Emissão de GEE em áreas cultivadas com arroz irrigado por inundação**

O sistema de cultivo de arroz por inundação, o qual mantém uma lâmina de água contínua durante quase todo o ciclo da cultura, proporciona benefícios à cultura do arroz devido às suas adaptações a esse ambiente (Sousa, 2001), possibilitando, por sua vez, elevada produtividade comparada à do arroz de sequeiro (SOSBAI, 2016). Todavia, as condições de anaerobiose favorecem a produção de CH<sub>4</sub>, importante gás de efeito estufa, como produto final da decomposição de compostos orgânicos por bactérias metanogênicas (Lai, 2009) que ocorre em condições reduzidas do solo (Eh < -100 mV) (Reddy & DeLaune, 2008).

O  $N_2O$  é produzido biologicamente em solos através de processos microbianos de nitrificação e desnitrificação, os quais são influenciados, principalmente, pelo teor de água no solo, que por sua vez atua sobre a concentração de  $O_2$  (Moreira & Siqueira, 2006). Apesar de o  $N_2O$  ser um gás de efeito estufa (GEE) quase 10 vezes mais potente que o  $CH_4$  (IPCC, 2014), solos cultivados com arroz em condições de alagamento contínuo, geralmente, apresentam baixas emissões de  $N_2O$ , comparados a solos bem drenados (Linguist et al., 2012), uma vez que, sob condições anaeróbias, parte do  $N_2O$  produzido é reduzido a  $N_2$  (Reddy & DeLaune, 2008). Linguist et al. (2012), em uma meta-análise relatara que as emissões de  $CH_4$  representaram quase 90% do potencial total de aquecimento global (GWP) de sistemas de arroz inundado.

No entanto, vários fatores estão envolvidos de forma direta e indireta na produção e na emissão desses GEE em solos cultivados com arroz inundado, como a temperatura, a quantidade e fonte de C e de N, o pH, o conteúdo de aceptores inorgânicos de elétrons do solo, a cultivar, além das práticas de manejo (Lida et al., 2007; Ahmad et al., 2009), sendo necessário o desenvolvimento de trabalhos que permitam melhor compreensão das emissões de GEE no cultivo de arroz inundado e, assim, possibilitem a busca por estratégias que minimizem essas emissões e seus efeitos.

As evidências são abundantes em numerosos estudos sobre a importância dos sistemas de cultivo de arroz em relação à emissão de gases de efeito estufa, especialmente  $CH_4$  e  $N_2O$  (Yao et al., 2014). Mas a literatura sobre esses estudos nos sistemas de cultivo de arroz no Brasil ainda é limitada, especialmente em áreas tropicais. Visto que a intensificação da produção de arroz é essencial, considerando o papel crítico que desempenha na alimentação das populações em crescimento no mundo. E as áreas de várzeas em regiões de clima tropical guardam grande potencial para a expansão da orizicultura irrigada por inundação brasileira, especialmente se for considerado que apenas 13% do total da área úmida com aptidão para arroz existente estão sendo utilizadas.

Ponto importante, que justifica a urgência de estudos nesse tema, refere-se   alimenta o do banco de dados do inventário brasileiro das emissões de  $CH_4$  em solos cultivados com arroz. Nesse levantamento o Estado do Rio

Grande do Sul é o que apresenta maior suporte de informações, diferentemente dos demais estados que possuem indisponibilidades de dados.

## 2.7 REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 382-388, 2009.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Rev. Bras. de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROppo, J. D.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. **Biogeosciences, Hoboken**, v. 10, p. 6141-6160, 2013.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.

BAMBERG, A. L.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; TIMM, L. C.; PINTO, L. F. S.; LIMA, A. C. R.; SILVA, T. R. Densidade de um Planossolo sob sistemas de cultivo avaliada por meio da tomografia computadorizada de raios gama. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p. 1079-1086, 2009.

BARBOSA FILHO, M. P. **Nutrição e Adubação do Arroz: (sequeiro e irrigado)**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 129 p. (Boletim técnico, 9).

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Soil Physics**. 4. ed. New York: John Wiley, 1972. 489 p.

BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; CONCEIÇÃO, P. C. **Long-term soil management systems on total and labile 67 C and the role of physical protection on their accumulation in a subtropical Acrisol**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ORGANIC MATTER DYNAMICS IN AGRO-ECOSYSTEMS, 2007, Poitiers. International Symposium on Organic Matter Dynamics in AgroEcosystems, 2007.

BELL, M. J.; RESS, R. M.; CLOY, J. M.; TOPP, C. F. R.; BAGNALL, A.; CHADWICK, D. R. Nitrous oxide emissions from cattle excreta applied to a Scottish grassland: Effects of soil and climatic conditions and a nitrification inhibitor. **Science of the Total Environment**, v. 508, p. 343-353, 2015.

BHAGAT, R. M. Rice lands of South and South East Asia, some soil physical aspects. **College on Soil Physics**, Trieste, p.48-61, 2003.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Degaspar, 1997.132 p.

CAMARGO, F. A. O.; SANTOS, G. A.; ZONTA, E. Alterações Eletroquímicas em Solos Inundados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 171-180, 1999.

CAMERON, K. C.; DI, H. J.; MOIR, J. L. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. **Annals of Applied Biology**, [S. l],v. 162, n. 2, p. 145-173, 2013.

CANTARELA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 375-470.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; CERRI, C. E. P.; LAL, R. Challenges and opportunities of soil carbon sequestration in Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J. D.; CERRI, C. E. P. (Ed.). **Carbon sequestration in soil of Latin America**. New York: The Haworth Press, 2006. v. 1, p. 41-47.

CHANG, T.; BARDENAS, E. A. **The morphology and varietal characteristics of the rice plant**. Los Baños: IRRI, 1965. p. 40.

CHILDS, E. C. The use of soil moisture characteristics in soil studies. **Soil Science**, Baltimore, v.50, p. 239-252. 1940.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB: **A cultura do Arroz**. Org: Aroldo Antônio de Oliveira Neto. Brasília: Conab, v. 1, p. 1-182, set. 2015a. Disponível em:<  
[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_03\\_01\\_16\\_56\\_00\\_a\\_cultura\\_do\\_arroz\\_-\\_conab.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_03_01_16_56_00_a_cultura_do_arroz_-_conab.pdf)>. Acesso em: 21 de jan. 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. CONAB: **Perspectivas para a agropecuária - Safra 2015/16**. Brasília: Conab, v. 2, p. 1-130, set. 2015b. Disponível em:<  
[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_09\\_24\\_11\\_44\\_50\\_perspectivas\\_agropecuaria\\_2015-16\\_-\\_produtos\\_verao.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_24_11_44_50_perspectivas_agropecuaria_2015-16_-_produtos_verao.pdf)>. Acesso em: 21 de jan. 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. CONAB: **Perspectivas de diversificação e de investimentos na produção de arroz - trigo - feijão**. Org: Aroldo Antônio de Oliveira Neto. Brasília: Conab, v. 1, p. 1-54, 2016. Disponível em:<  
[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_06\\_20\\_10\\_34\\_02\\_compendio\\_de\\_estudos\\_conab\\_-\\_volume\\_1,\\_2016.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_06_20_10_34_02_compendio_de_estudos_conab_-_volume_1,_2016.pdf)>. Acesso em: 21 de jan. 2017.

CORDEIRO, L. Fixação do Nitrogênio. In: KERBAUY, G.B. (Ed.). **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 76-93.

COSTA, F. S.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C. Emissões de gases de efeito estufa em agroecossistemas e potencial de mitigação. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Metropole, 2008. P. 545-559.

CRUTZEN, P. J. Atmospheric chemical processes of the oxides of nitrogen, included nitrogen oxide. In: DELWICHE, C. C. (Ed.). **Denitrification, nitrification and N<sub>2</sub>O**. New York: John Wiley and Sons, Ltd., 1981, p. 17-44.

CUNHA, C. N.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. F. **Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats**. Cuiabá: UFMT, 2015, 165 p.

DAMIN, V.; SILVA, M. A. S. Manejo do Nitrogênio na Região do Cerrado. In: FLORES, R. A.; CUNHA, P. P. (Ed.). **Práticas de Manejo do Solo para Adequada Nutrição de Plantas no Cerrado**. Goiânia: UFG, 2016. p. 225-251.

DIECKOW, J.; BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. **Sistemas Conservacionistas de Preparo do solo e Implicações no Ciclo do Carbono**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, n. 12, 2004. 17 p. Disponível em:<  
<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/30484/1/DOC122004.pdf>>. Acesso em: 10 de jan. 2017.

DE CAMPOS, A. B. **Effects of redox on the solution chemistry and aggregate stability of Midwest upland soils**. 2006. 232 f. Thesis (Doctor Philosophy) - Purdue University, West Lafayette, Indiana, 2006.

DIAS JÚNIOR, M. de S. Compactação do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 1, p. 55-94, 2000.

DOBERMAN, A.; FAIRHUST, T. **Rice**: Nutrient disorders and nutrient management. Los Baños: IRRI, 2000. 191p.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A., (Ed.). **Defining soil quality for asustainable environment**. Madison: SSSA, 1994. p. 1-20. (Special, 35).

ELLIOT, T. R.; HECK, R. J. A comparison of optical and X-ray technique for void analysis in soil thin section. **Geoderma**, Amsterdam, v. 142, p. 60-70, 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. 353 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1997. 212 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e Perspectivas**. 3.ed. Londrina, Planta, 2006. 403p.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos. **Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 250p.

FAGERIA, N. K. Adubação e Calagem. In: SANTOS, A. B. dos.; STONE, L. F. ; VIEIRA, N. R. de A.. (Org.). **A Cultura do Arroz no Brasil**. 2 ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 425-450.

FAGERIA, N. K. **Mineral Nutrition of Rice**. Boca Raton: CRC Press, 2013. 552 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Food outlook**: biannual report on global food markets. Rome, 2016. 139 p.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual de Cultura de Arroz**. Jaboticabal: Funap, 1993. 221 p.

FRACETTO, F. J. C. **Emissão de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e abundância da comunidade de bactérias desnitrificantes no agrossistema cana-de-açúcar**. 2013. 88 f. Tese (Doutorado em Ciências)–Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2013.

GEORGE, T.; LADHA, J. K.; BURESH, R. J.; GARRITY, D. P. Nitrate Dynamics during the Aerobic Soil Phase in Lowland Rice-Based Cropping Systems. **Soil Science Society of America Journal**, [S. l], v. 57, n. 6, p. 1526-1532, 1993.

GIACOMINI, S. J. **A avaliação e modelização da dinâmica de carbono e nitrogênio em solo com o uso de dejetos de suínos**. 2005. 247 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

GIACOMINI, S. J.; JANTALIA, C. P.; AITA, C.; URQUIAGA, S. S.; ALVES, B. J. R. Emissão de óxido nitroso com a aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo sob plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.41, n.11, p.1653-1661, 2006.

GOMES, J. **Emissão de gases de efeito estufa e potencial de mitigação do aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo**. 2006. 126 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)–Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto alegre, 2006.

GUIMARÃES, C. M.; CASTRO, da M. de; MORAIS, O. P.; STONE, L. F. Cultivares tradicionais e melhoradas de arroz de terras altas: características morfológicas do sistema radicular. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA

DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002.

GUIMARÃES, C. M.; SANTOS, A. B dos.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; STONE, L. F. Sistemas de cultivo. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 53-96.

GLASZMANN, J. C. Isozymes and classification of Asian rice varieties. **Theoretical and Applied Genetics**, [S. l], v. 74, n. 1, p. 21-30, 1987.

GROHS, M. Influência de inibidores de urease sobre volatilização de amônia em sistemas de cultivo de arroz irrigado In: CONGRESSO DE ARROZ IRRIGADO, 6., 2009. Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre: SOSBAI, 2009. p. 195-198.

HARRELL, D. L.; TUBANA, B. S.; WALKER, T.W.; PHILLIPS, S. B. Estimating rice grain yield potential using normalized difference vegetation index. **Agronomy journal** v.103, n. 6, p.1717-1723, nov. 2011.

HERMLE, S.; ANKEN, T.; LEIFELD, J.; WEISSKOPF, P. The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 98, p. 94-105, 2008.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. Academic Press, Orlando, 1980.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA-IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em:< [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Levantamento\\_Sistematico\\_da\\_Producao\\_Agricola\\_\[mensal\]/Fasciculo/2017/Prognostico\\_201711.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/2017/Prognostico_201711.pdf)>. Acesso em: 01 maio 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. Disponível em:< [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter11.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter11.pdf)>. Acesso em: 19 jan. 2017.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE - IUCN. **The Ramsar Conference: Final act of the international conference on the conservation of wetlands and waterfowl**. 1971. Disponível em:< <http://unesdoc.unesco.org/images/0000/000028/002867EB.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2017.

JANTALIA, C. P.; VILELA, V.; BODDEY, R. M.; ALVEZ, B. J. R.; URQUIAGA, S. Integração Lavoura-Pecuária como uma tecnologia sustentável para o cerrado: estudo de caso. In: ALVES; B. J. R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Manejo de Sistemas Agrícolas: Impacto no Sequestro de C e nas Emissões de Gases de Efeito Estufa**. Porto Alegre: Genesis, 2006. cap. 5, p. 109-133.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M.T. F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L. D.; BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A.; NUNES DA CUNHA, C.; MALTCHIK, L.; SCHOENGART, J.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A.A. Brazilian wetlands: Definition, delineation and classification for research, sustainable management and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Environments**, Mainz, v. 24, n. 1, p. 5-22, ago. 2013.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**: relação solo-planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 273 p.

KIRK, G. **The Biogeochemistry of Submerged Soils**. John Wiley & Sons, Chichester, 2004. 282 p.

KHUSH, G. S. Origin, dispersal, cultivation and variation of rice. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 35, p. 25-34, 1997.

KLEIN, H.W.; LIBARDI, P.L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n. 6, p.945-953, 2002.

KNOBLAUCH, R. **Dinâmica do Nitrogênio em Solos Alagados Destinados ao Cultivo de Arroz Irrigado**. 2011. 111 f. Tese (Doutorado em Manejo do Solo)– Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC. 2011.

KOOREVAAR, P.; MENELIK, G.; DIRKSEN, C. **Elements of soil physics**. Amsterdam: Elsevier, 1983. 227 p.

LAL, R. Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences*, London, v. 363, n. 2, p. 815-830, 2008. .

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advances in Soil Science**, New York, v.1, p. 277-294, 1985.

LE TREUT, H., SOMERVILLE, R., CUBASCH, U., DING, Y., MAURITZEN, C., MOKSSIT, A., PETERSON, T., PRATHER, M. 2007. Historical overview of climate change. In: SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K.B., TIGNOR, M., MILLER, H.L. (eds.). **Climate Change 2007: The physical science basis: Contribution of working group I to the 4th assessment report of the International Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. cap. 1, p. 93-127.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: USP, 2005. 335 p.

LIMA, C. L. R.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S. Estabilidade de Agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 27, n.1, p. 199-205, 2003.

LIMA, M. A. Agropecuária Brasileira e as Mudanças Climáticas Globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.19, n. 3, p.451-472. 2002.

LINQUIST, B. A.; ADVIENTO-BORBE, M. A.; PITTELKOW, C. M.; van KESSEL, C.; van GROENIGEN, K. J. Fertilizer management practices and greenhouse gas emissions from rice systems: a quantitative review and analysis. **Field Crops Research**, v.135, p. 10-21, 2012.

LIU, R.; LIU, H.; FENG, H.; WANG, X.; ZHANG, C.-X.; ZHANG, K.-Y.; LAI, R. *Pseudomonas duriflava* sp. nov., isolated from a desert soil. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, [S. l], v. 58, p. 1404-1408, 2008.

MACHADO, P. L. O. de A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Quim. Nova**, Salvador, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; TERRES, A. L.; FAGUNDES, P. R.; FRANCO, D. F.; ANDRES, A. Aspectos genéticos, morfológicos e de desenvolvimento de plantas de arroz irrigado In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.143-160.

MAJEROWICZ, N. Fotossíntese. In: KERBAUY, G. B. (Ed.). **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 114-178.

MALAVOLTA, E.; MORAES, F. M. **O nitrogênio na agricultura brasileira**. São Paulo: Série Estudos e Documentos, 2006. 74 p.

MARSHALL, T.L. The nature, development and significance of soil structure. In: NEALE, G. J. (Ed.). **Transactions of the international Society of Soil Science Communications IV and V**. Palmerston North, New Zealand, 1962. p. 243-257.

MENEZES, S. M.; SAMPAIO, F. M. T.; RIBEIRO, K. D. Estudo da condutividade hidráulica relacionada com alguns parâmetros físicos do solo. In: XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica/ IV Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas/ III Congresso Luso- Brasileiro de Geotecnia, 2006, Curitiba. **Resumos...** Curitiba, 2006. p 149-153.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 67-90.

MILICH, L. The role of methane in global warming: Where might mitigation strategies be focused?. **Global Environmental Change**, Oxford, v.9, n.3, p.179-201, 1999.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA - MCT. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil: Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal.** Brasília: MCT, 2010. 152 p.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - MCTI. **Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil.** 2. ed. Brasília: MCTI, 2014. 168 p.

MONTENEGRO, J. **Características físicas e fator de erodibilidade de solos de depressão central do Rio Grande do Sul.** 1976. 92 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)—Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1976.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

MOSIER, A. R. Chamber and isotope techniques. In: ANDREAE, M. O.; SCHIMMEL, D.S. (Ed.). **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop.** Berlin: Wiley, 1989. p. 175-187.

MOSIER, A. R.; DORAN, J. W.; FRENEY, J. R. Managing soil denitrification. **Journal of Soil and Water Conservation**, [S. l], v. 57, n. 6, p. 505-513, 2002.

MOSIER, A.; WASSMANN, R.; VERCHOT, L.; KING, J.; PALM, C. Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. **Environment Development and Sustainability**, [S. l], v. 6, n. 1, p. 11-49, 2004.

MURPHY, C.P. **Thin section preparation of soils and sediments.** Berkhamsted: A. B. Academic, 1986. 149 p.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

OLIVEIRA, C., LEAL, J. R., VELLOSO, A. C. X. Processos redox em glei húmico do Estado do Rio de Janeiro: IV. Variação no "status redox" (pe+ pH) de solos cultivados com arroz alagado. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.17, n.1, p. 35-39, 1993.

OTTE, S.; KUENEN, J. G.; NIELSEN, L. P.; PAERL, H. W.; ZOPFI, J.; SCHULZ, H. N.; TESKE, A.; STROTMANN, B.; GALLARDO, V. A.; JORGENSEN, B. B. Nitrogen, carbon, and sulfur metabolism in natural thioploca samples. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 65, n. 7, p. 148-3157, 1999.

PACHECO, M. R. P. S.; HELENE, M. E. M. Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO<sub>2</sub>. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 4, n. 9, p. 204-220, 1990.

PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soil. **Advances in Agronomy**, Los Banos, v. 24, p. 29-96, 1972.

PRABHU, A. S.; FILIPPI, M. C. C. **Brusone em arroz: controle genético, progresso e perspectiva**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 388 p.

PRIMAVESI, O.; ARZABE, C.; PEDREIRA, M. S. **Mudanças climáticas: visão tropical integrada das causas, dos impactos e de possíveis soluções para ambientes rurais ou urbanos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 213 p.

RAMSAR. **The List of Wetlands of International Importance**. The Secretariat of the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971). Gland, 2017. 48 p.

RANGEL, P. H. N. Origem e evolução do arroz. In: CURSO INTERNACIONAL DE MELHORAMENTO DE ARROZ. Goiânia: Embrapa, 1998. 4 p.

READ, D.; BEERLING, D.; CANNELL, M.; COX, P.; CURRAN, P.; GRACE, J.; INESO, P.; JARVIS, P.; MALHI, Y.; POWLSON, D.; SHEPHERD, J.; WOODWARD, I. **The role of land carbon sinks in mitigating global climate change**. London: Royal Society, 2001. 27 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188 p.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P. L.; NASCIMENTO FILHO, V. F. Condutividade hidráulica saturada em um perfil de terra roxa estruturada (ASFISOL). **Rev. Bras. Ci. Solo** Campinas, v.2, p. 21-24, 1978.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; ROSA, G. M. & CERETTA, C. A. (Ed.). **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria:UFSM, 2001, 165 p.

RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Part 1. Madison: American Society for Testing and Materials, 1965. 770 p.

SANCHEZ, P. A. **Properties and Management of Soils in the Tropics**. New York: John Wiley, 1976. 618 p.

SANTOS, A. B dos. **Árvore do conhecimento Arroz: arroz irrigado na região tropical**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2005. Disponível em: < <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fojvokoe02wyi v80bhgp5peukf4xk.html> >. Acesso em: 19 jan. 2017.

SANTOS, A. B dos.; FIORETTO, A. L.; PRABHU, A. S.; PEREIRA, A. J.; FRAZÃO, B. L.; SANTIAGO, C. M. **Informações técnicas para a cultura do**

**arroz irrigado no estado do Tocantins: Safra 2008/2009.** 1. ed. Santo Antônio de Goiás: 2008. 136 p.

SCHLESINGER, W. H. **Biogeochemistry: Na Analysis of Global Change.** 2. ed. San Diego: Academic Press, 1997. 588 p.

SCHNEIDER, P.; KLAMT, E.; GIASSON, E. **Morfologia do solo:** subsídio para caracterização e interpretação de solos a campo. Guaíba: Agrolivros, 2007. 72 p.

SCIVITTARO, W. B.; MACHADO, M. O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. **Arroz irrigado no Sul do Brasil.** Brasília: Embrapa Clima Temperado, 2004. p. 259-303.

SCIVITTARO, W. B. **Inovações tecnológicas no manejo do nitrogênio para o arroz irrigado.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 27 p. (Documentos 170).

SIGNOR, D.; CERRI, C. E. P. Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 43, n. 3, p. 322-338, jul/set. 2013.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ- SOSBAI. **Arroz irrigado:** Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Pelotas: SOSBAI, 2016. 200 p.

SOUSA, R. O.; VALH, L. C.; OTERO, X. L. Química dos solos alagados. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo** - Parte II Aplicações. Viçosa: SBCS, 2009, cap. 20, p. 485-528.

SOUSA, R. O.; CAMARGO, F. A. O.; VAHL, L. C. Solos alagados. In. MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo.** Porto Alegre: Gênese, 2000. cap.7, p.127-149.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2013. 954 p.

TONELLO, V. M. M. **Principais Aspectos do ciclo biogeoquímico do elemento carbono e seu contexto na atualidade.** 2007. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada)–Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2007.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 22, p.301-309, 1998.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. Estados Unidos. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. Soil Survey Laboratory. Methods and procedures for collecting soil samples: Soil survey investigations. Washington: USDA/NRCS, 1972, 73 p. Report 1

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **Keys to Soil Taxonomy**. 11. ed. Washington: NRCS, 2010. 345 p.

VAUGHAN, D. A. **The wild relatives of rice: a genetic resources handbook**. Manilla: International Rice Research Institute, 1994. 137 p.

VENTEREA, R. T.; MAHARJAN, B.; DOLAN, M. S. Fertilizer source and tillage effects on yield-scaled nitrous oxide emissions in a corn cropping system. **J. Environ. Qual.** v. 40, n. 5, p. 1521-1531, 2011.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. de A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1184-1192, jul. 2008.

WANTZEN, K. M.; COUTO, E. G.; MUND, E. E.; AMORIM, R. S. S.; SIQUEIRA, A.; TIELBÖRGER, K.; SEIFAN, M. Soil carbon stocks in stream-valley-ecosystems in the Brazilian Cerrado agroscape. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S. l], v. 151, p. 70-79, 2012.

YAO, L.; ZHENG, H.; HUANG, H.; LIU, J.; HE, H.; TANG, J. Water-saving ground cover rice production system reduces net greenhouse gas fluxes in an annual rice-based cropping system. **Biogeosciences**, 2014, v.11, p. 6221-6236.

YOUNG, J. P. W. Phylogenetic classification of nitrogen fixing bacteria. In: STACEY, G.; BURRIS, R.; EVANS, H. (Ed.). **Biological nitrogen fixation**. New York: Chapman and Hall, 1992. p. 43-86.

ZANATTA, J. A. **Emissão de óxido nitroso afetada por sistemas de manejo do solo e fontes de nitrogênio**. 2009. 79 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)– Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

ZANINI NETO, J. A. **Morfologia e fisiologia da planta de arroz**. Florianópolis: EPAGRI, 1997. 54 p.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 28-40, nov. 2005.

### 3. IMPACTO DO USO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO, ESTOQUE DE CARBONO E PRODUTIVIDADE DE ARROZ IRRIGADO POR INUNDAÇÃO

#### RESUMO

Os ciclos de inundação e drenagem aos quais os solos de várzeas cultivados com arroz são submetidos, bem como o manejo de fertilizantes utilizados nessas áreas, provocam alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. O objetivo do estudo foi avaliar o efeito do manejo de nitrogênio (N) nas propriedades físicas, no estoque de carbono (C) do solo e na produtividade de arroz irrigado por inundação em várzea tropical. Um experimento foi conduzido em campo na Fazenda Palmital, Estação Experimental da Embrapa Arroz e Feijão, em Gleissolo Háplico, em delineamento de blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos consistiram no uso de duas fontes de N (ureia comum e ureia protegida) aplicadas em três doses (30, 70, 150 kg ha<sup>-1</sup>), mais a testemunha que não recebeu aplicação de N. Amostras de solo com estrutura indeformada e deformada foram coletadas nas camadas 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-30; 30-40 e 40-50 cm, para determinação da condutividade hidráulica saturada do solo, retenção de água, porosidade, densidade do solo, fertilidade e estoque de C e N, em 21 unidades experimentais. A microporosidade e a densidade do solo do Gleissolo Háplico foram influenciadas pelo manejo do nitrogênio, embora a produtividade do arroz irrigado por inundação não tenha sido afetada. Os estoques de C e N total diminuíram com o aumento da profundidade do perfil do solo, em especial na camada 10-20 cm, o que pode ser explicado pela incorporação dos resíduos vegetais da superfície ao solo e da formação de uma camada adensada nessa profundidade. A aplicação de N aumentou a produtividade de grãos de arroz irrigado por inundação, sendo a dose 64 kg ha<sup>-1</sup> a que apresentou melhor eficiência de uso pela cultivar BRS Catiana.

*Palavras-chave:* *Oryza sativa*, várzea, curva de retenção, matéria orgânica, tropical, catiana

### 3. NITROGEN FERTILIZERS MANAGEMENT IMPACT ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES, CARBON STOCK AND FLOODED RICE YIELD

#### ABSTRACT

The flood and drainage cycles, which the soils of floodplains cultivated with rice, undergo, as well as the management of fertilizers made in these areas, cause changes in the physical, chemical and biological properties of the soil. Thus, the objective of this study was to evaluate the physical and physicochemical properties of the tropical lowland soil and the effect of nitrogen management on these properties, carbon stock and flooded rice yield. Conducted an experiment under field conditions at the Experimental Station of the Palmital Farm of Embrapa Rice and Beans in Gleissolo Háplico, with experimental design in randomized blocks and three replicates. Treatments resulted of factorial combination between two types of nitrogen sources (common urea and protected urea) and three doses of nitrogen (30, 70, 150 kg ha<sup>-1</sup>) more the witness. Unformed and deformed soil samples were collected at depths 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-30; 30-40 and 40-50 cm for determination of saturated soil hydraulic conductivity, water retention curves in the soil, porosity, bulk density, fertility, total C and N in the experimental units. Nitrogen management affected the physical quality of Gleissolo Háplico studied, with microporosity and soil density being the most sensitive to management. However, did not interfere in the productivity of flooded rice. The carbon and total nitrogen stocks decreased as the depth increased in the soil profile, with an increase in the 10-20 cm layer, possibly due to the incorporation of the surface residue and the formation of a densified layer at that depth. N increases the yield of flooded rice grains, with the 64 kg ha<sup>-1</sup> dose being the best use efficiency for cultivating BRS Catiana.

*Key words:* *Oryza sativa*, floodplain, retention curve, total soil carbon

#### 3.1 INTRODUÇÃO

O arroz é um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana, sendo a base alimentar de mais de três bilhões de pessoas. É o segundo cereal mais cultivado no mundo (SOSBAI, 2016). O Brasil é o nono produtor mundial e o maior fora do continente asiático (FAO, 2016). Mais de 80% da produção brasileira é proveniente de áreas de várzeas (IBGE, 2017), cujo sistema básico de cultivo é o irrigado por inundação.

Os ciclos de inundação e secagem, a que esses solos são naturalmente submetidos, ocasionam alterações periódicas no ambiente em razão das mudanças nos processos físicos, químicos e na microbiota do solo, uma vez

que há alternância entre a condição aeróbica e a anaeróbica (Roscoe et al., 2006). Os solos de maior ocorrência sob cultivo de arroz irrigado tropical são Gleissolos e Plintossolos, cujas características de hidromorfismo e drenagem deficiente favorecem o desenvolvimento das plantas de arroz.

A inundação promove a quebra dos agregados, e, em decorrência da translocação e sedimentação de partículas, pode ocorrer a formação de camadas endurecidas no perfil do solo, levando a mudanças na distribuição do tamanho dos poros e, conseqüentemente, na densidade do solo e nas propriedades hidráulicas do solo (Zhou et al., 2014). Na drenagem do solo forma-se maior quantidade de microagregados que possuem menor quantidade de poros intra-agregados (Bamberg et al., 2009). Behera et al. (2009) constataram aumento na densidade do solo e diminuição da condutividade hidráulica do solo saturado 30 e 60 dias após a inundação, em um solo de textura franca, situado em Karnataka, Índia, e classificado como Mollisol por meio da classificação americana (Soil Survey Staff, 2014), que corresponde ao Chernossolo no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013). Essas alterações físicas são propícias ao cultivo de arroz, visto que ajudam a manter a água no sistema, diminuindo as perdas por drenagem, aumentando a eficiência do uso da água e de nutrientes pelo arroz. Além disso, a alternância entre esses ciclos pode resultar em uma dinâmica da matéria orgânica (MO) diferente daquela dos solos permanentemente aerados, tanto em relação aos produtos formados, quanto à velocidade de decomposição (Roscoe et al., 2006), interferindo, assim, no estoque de carbono (C) desses solos.

Em solo predominantemente inundado, o estoque de C orgânico tende a ser maior do que em solo aerado, pois a decomposição do C nesse ambiente se dá de forma mais lenta: o metabolismo anaeróbico fornece menos energia aos microrganismos do que a respiração aeróbia, promovendo assim o acúmulo de MO (Sousa et al., 2000). Fatores como pH neutro, baixa densidade do solo, solos intensamente preparados a cada cultivo e elevada disponibilidade de nutrientes, podem favorecer a decomposição rápida da matéria orgânica em solos inundados, como naqueles cultivados com arroz (Silva et al., 2008). Além disso, como o alagamento do solo desestabiliza a sua estrutura, promovendo agregação transitória entre o período drenado e o alagado, não há boa proteção

física da MO, sendo, portanto, pouco eficiente em sua estabilização, não contribuindo dessa forma, para o acúmulo de C em solos de várzeas cultivados (Nascimento et al., 2009).

A capacidade de proteger o C do solo é diretamente influenciada pela matriz do solo, dependendo fortemente da sua textura e mineralogia. Anghinoni et al. (2004), estudando solos de várzeas do Rio Grande do Sul, constataram menores teores de MO nestes em relação aos cultivados em terras altas, e atribuem esse fato à excessiva mobilização do solo no momento do preparo, e a textura arenosa do solo estudado.

Aliado às alterações decorrentes da inundação, o manejo da aplicação de fertilizantes sintéticos nitrogenados, por promover o aumento da produção de biomassa vegetal que retorna ao solo por meio da decomposição das raízes e resíduos da colheita, pode resultar em maior teor de C orgânico do solo. Por outro lado, a adição de fertilizantes pode também interferir na dispersão/floculação de partículas de argila e, assim, afetar a estabilidade da agregação do solo, refletindo na maior ou menor estabilidade da MO (Haynes et al., 1998).

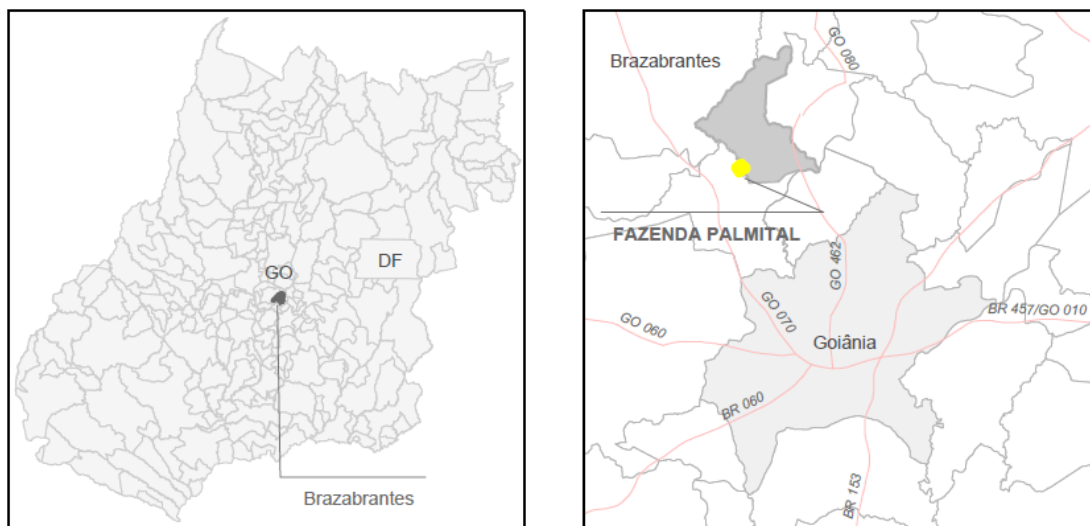
Diante do exposto, o objetivo do estudo foi avaliar os efeitos do manejo da adubação nitrogenada em arroz cultivado em Gleissolo Háplico e irrigado por inundação nas propriedades físicas e hídricas do solo, nos estoques de carbono e na produtividade do arroz.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Área Experimental

O estudo foi conduzido em condições de campo, nas safras 2014/15 e 2015/16, na Fazenda Palmital, Estação Experimental da Embrapa Arroz e Feijão, situada no município de Goianira, GO, (“16° 43’ 33” S, 49° 38’ 33” W e 785 metros de altitude média (Figura 1.1). O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (Kottek et al., 2006), é do tipo “Aw”, com temperatura do ar média anual de 23,0 °C, sendo que no mês de junho ocorre a menor média de temperatura mínima do ar (14,2 °C), enquanto o mês de setembro apresenta a

maior média de temperatura máxima do ar (31,7 °C). A precipitação pluvial média anual de 1.485 mm e a umidade relativa do ar, média anual, de 71%.



**Figura 1.1.** Localização da área experimental (Embrapa, 2013).

A área experimental encontra-se sobre um Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/média cascalhenta, A moderado, fases relevo plano, pedregosa III, campo hidrófilo de várzea (GXve2) (Oliveira & Rodrigues, 2012). Essa área tem sido utilizada em sistema convencional de produção de arroz irrigado por inundação, continuamente há, aproximadamente, 36 anos.

### 3.2.2 Desenvolvimento do experimento

O experimento foi implementado a campo em delineamento de blocos casualizados composto por duas fontes de fertilizante mineral nitrogenado, três doses, mais a dose zero (controle), e três repetições. As fontes de nitrogênio utilizadas foram ureia comum (UC) e ureia protegida (UP) (fonte comercial de ureia com 45% de N, adicionada de 0,15% de cobre e 0,4% de boro, que são inibidores de urease). As fontes foram aplicadas em três doses: 30, 70, 150 kg ha<sup>-1</sup>, constituindo 21 unidades experimentais (parcelas) de 5,5 x 3,3 m.

Na safra 2014/2015, depois da coleta de amostras de solo com estrutura deformada para caracterização física e química do solo, foram iniciadas as operações de preparo do solo, sendo realizada previamente a incorporação de adubo verde (*Crotalaria ochroleuca*), 60 dias após emergência. Na safra 2015/16 não houve incorporação de adubo verde, apenas dos restos culturais do arroz.

Nas parcelas com adubação nitrogenada foram aplicados, na linha de semeadura, 6,5 kg ha<sup>-1</sup> de ureia (N), 39 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 60 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O. O restante das doses de N foi aplicado em duas coberturas, a lanço nos estádios fenológicos V3-V4, início do perfilhamento, e V7-V8, por ocasião do perfilhamento efetivo.

Na safra 2014/15, as doses de P e K foram calculadas conforme análise de fertilidade do solo, que apresentava os seguintes parâmetros na camada de 0-20 cm: pH (H<sub>2</sub>O): 5,2; Ca: 22,7 mmol/dm<sup>3</sup>; Mg: 6,5 mmol/dm<sup>3</sup>; Al: 4,6 mmol/dm<sup>3</sup>; P: 49,8 mg/dm<sup>3</sup>; K: 65,5 mg/dm<sup>3</sup>, <sup>3</sup>, Cu: 7,4 mg/dm<sup>3</sup>, Zn: 5,9 mg/dm<sup>3</sup>, Fe: 364,2 mg/dm<sup>3</sup>, Mn: 24 mg/dm<sup>3</sup>, Carbono total: 1,8 %, Nitrogênio total: 0,2%, Argila: 23,88%, Silte: 24,2% e Areia: 51,91%. A inundação da área ocorreu quatro dias após a primeira adubação de cobertura. A cultivar utilizada foi a BRS Catiana, de ciclo médio, classe longo fino, altura média de 102 cm e, produtividade média de 7.253 kg ha<sup>-1</sup>. Devido à ocorrência de chuvas frequentes e, conseqüentemente, dificuldade de drenagem da área, a colheita não ocorreu na data prevista o que levou a uma maior permanência da cultura no campo, sendo seus dados de produção colhidos aos 128 DAE, em 11/03/2015.

No período da entressafra ocorreu apenas gradagem da área e incorporação dos restos culturais, ficando o solo em pousio e drenado até o início da próxima safra.

Na safra 2015/16, as doses de P e K foram calculadas conforme análise de fertilidade do solo, que apresentava os seguintes parâmetros na camada de 0-20 cm: pH (H<sub>2</sub>O): 5,2; Ca: 20 mmol/dm<sup>3</sup>; Mg: 6,3 mmol/dm<sup>3</sup>; Al: 6,9 mmol/dm<sup>3</sup>; P: 43,2 mg/dm<sup>3</sup>; K: 59,4 mg/dm<sup>3</sup>, Cu: 2,3 mg/dm<sup>3</sup>, Zn: 3,9 mg/dm<sup>3</sup>, Fe: 324,2 mg/dm<sup>3</sup>, Mn: 41,1 mg/dm<sup>3</sup>, Carbono total: 2,3% e Nitrogênio total: 0,2%.

Na adubação de base, em linha de semeadura, foram aplicados 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo o restante das doses de N aplicadas em cobertura (duas),

conforme descrito para a safra anterior. Nas testemunhas não foi utilizado nitrogênio. A cultivar utilizada foi à mesma da safra anterior, a BRS Catiana.

Quatorze dias depois após a primeira adubação de cobertura, as parcelas foram inundadas, mantendo uma lâmina de água de, aproximadamente, 10 cm até o momento da colheita do arroz que ocorreu em 09/03/2016.

### 3.2.3 Amostragem e análises de solo

Foram coletadas amostras de solo com estrutura indeformada e deformada em sete camadas: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm (Figura 1.2).



**Figura 1.2.** Amostragem de solo nas parcelas experimentais, em várzea tropical.

As amostras de solo com estrutura indeformada foram coletadas pelo método do anel volumétrico para determinação da curva de retenção de água no solo, da porosidade (macroporos, microporos e porosidade total), da densidade do solo e da condutividade hidráulica saturada do solo. As amostras de solo com estrutura deformada foram coletadas para a determinação da fertilidade, C e N totais. Após a coleta, as amostras foram levadas ao Laboratório de Análise Agroambiental, da Embrapa Arroz e Feijão.

A amostragem do solo ocorreu em duas etapas: antes da aplicação dos tratamentos, para caracterização da área, em oito trincheiras representativas da área total do experimento (3.430,4 m<sup>2</sup>), e ao final do experimento, nas 21 parcelas experimentais.

### Análises físicas

As amostras, coletadas com anel volumétrico, foram preparadas para análise, efetuando-se a retirada do excesso de solo dos anéis (toalete), de modo que o solo preenchesse apenas o volume interno do anel e fixando, com uma borracha, uma tela em “voil” no fundo do cilindro, para evitar perda de material. Em seguida, foram colocadas para serem saturadas em uma bandeja com água destilada atingindo 2/3 da altura dos anéis, por um período mínimo de 12 horas.

Após a saturação do solo, determinou-se a condutividade hidráulica saturada (K<sub>o</sub>) pelo método de carga constante de água, com três determinações para cada amostra (Embrapa, 2017).

Depois de pesados os anéis foram levados para centrífuga para obtenção da curva de retenção de água, aplicando-se os seguintes valores de tensão: 0; 6; 8; 10; 33; 60; 100 e 1500 kPa, para um período de centrifugação de 30 min (Freitas Júnior & Silva, 1984). As rotações correspondentes a cada tensão foram: 600, 700, 800, 1300, 1800, 2400 e 9100 rpm, proporcionando uma força centrífuga relativa de 0; 56,35; 76,69; 100,17; 264,52; 507,12; 901,55 e 12.961,42 g, respectivamente a cada tensão, para centrífuga com raio de rotor de 14 cm.

Após cada centrifugação, as amostras foram pesadas e ao final da última pesagem foram levadas para estufa a 105°C por 24 horas e pesadas novamente.

O ajuste dos dados de umidade e obtenção dos parâmetros do modelo de Van Genuchten (1980) (Equação 1) foi realizado por meio do software SAS/STAT<sup>®</sup> (SAS Institute Inc., 2008), bem como o erro aleatório associado a cada parcela e a cada medida, adicionados ao modelo de van Genuchten conforme Carvalho et al. (2014).

$$\theta(\Psi) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \cdot \left[ \frac{1}{1 + (\alpha\Psi)^n} \right]^m \quad [1]$$

em que,  $\theta(\Psi)$  é o conteúdo volumétrico de água (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) em um determinado potencial matricial  $\Psi$  (kPa),  $\theta_r$  é a umidade volumétrica residual do solo (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>)

<sup>3</sup>) (teor de umidade do solo em um  $\Psi \geq 1500$  kPa),  $\theta_s$  umidade volumétrica no ponto de saturação ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) (teor de umidade do solo em 0 kPa),  $\Psi$  é a tensão de água no solo (kPa),  $\alpha$  parâmetro de ajuste da equação de van Genuchten, que tem relação com a escala da tensão da água no solo (kPa), ou seja, o valor de entrada de ar,  $n$  é um parâmetro adimensional e reflete a forma da curva de retenção de água no solo ( $n > 1$ ) e o  $m$  é um parâmetro de forma, sendo  $m = 1 - (1/n)$ .

A porosidade total (PT) foi considerada igual  $\theta_s$ , sendo a microporosidade considerada igual a diferença de volume de água no solo equilibrado a tensão de 6 kPa e o solo seco, e a macroporosidade obtida pela subtração da microporosidade da  $\theta_s$ . A densidade do solo ( $D_s$ ) foi calculada pela relação entre a massa do solo seco em estufa a  $105^\circ\text{C}$  e o volume total de solo coletado com o anel volumétrico. As análises físicas e hídricas do solo foram realizadas seguindo as metodologias descritas pela Embrapa (2017).

Para a análise de C e N totais foi tomada uma alíquota de  $10 \text{ cm}^3$  de cada amostra de terra fina seca ao ar macerada em moinho de bolas, utilizando frascos de vidro e esferas de porcelana, por 24 h. Após a moagem, tendo a massa de solo atingido granulometria menor que 80 *mesh*, as amostras foram acondicionadas em microtubo “ependorf”, e devidamente identificadas. Depois, foram pesados entre 10 e 14 mg de cada amostra, colocada em cápsulas de estanho e levadas para análise em analisador elementar PerkinElmer 2400 Series II CHNS/O, conforme método Dumas, de combustão seca a alta temperatura (Nelson & Sommers, 1996). Os estoques de C, em cada camada de solo, foram calculados a partir dos teores de C, da espessura da camada amostrada e dos valores da densidade do solo de cada camada (Veldkamp, 1994), conforme a equação [2]. Os estoques de nitrogênio foram obtidos por meio da mesma metodologia.

$$\text{Est} = (\text{teor} \times D_s \times e)/10 \quad [2]$$

em que: *Est* é o estoque de carbono ou de nitrogênio do solo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ); *teor*, teor de C total ou do N total do solo na profundidade amostrada ( $\text{g kg}^{-1}$ );  $D_s$ , a densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ); e *e*, a espessura da camada amostrada (cm).

### 3.2.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância, seguida de análise de regressão ( $P < 0,05$ ) para doses e profundidades e, teste Tukey para fontes. As análises estatísticas foram feitas utilizando o software R (Team, 2013). Utilizou-se teste de correlação de Pearson para verificar possíveis relações entre as diferentes variáveis avaliadas.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

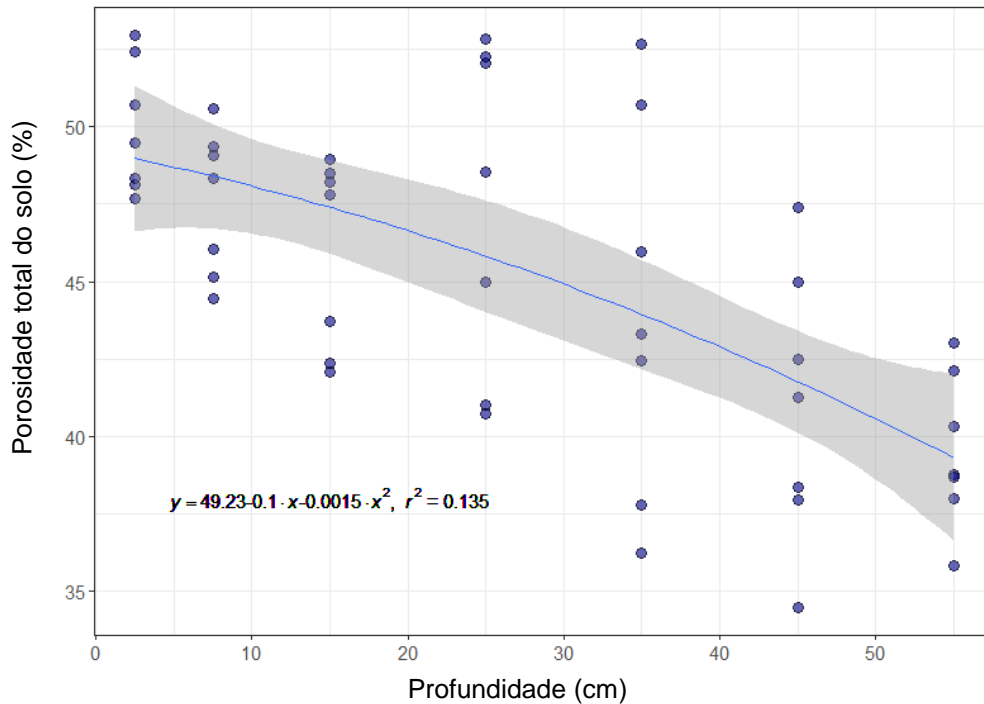
Observa-se (Tabela 1.1), que as variáveis estudadas foram fortemente influenciadas pela profundidade do solo, em detrimento da dose ou fonte de fertilizante nitrogenado mineral.

**Tabela 1.1.** Análise de variância para as características físicas, estoques de carbono e de nitrogênio e produtividade de arroz irrigado por inundação em várzea tropical em um Gleissolo Háplico. Goianira, GO.

Fontes de Variação	PT	MA	MI	Ds	Ko	Est C	Est N	Prod
	-----cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> -----			g cm <sup>-3</sup>	cm h <sup>-1</sup>	-----Mg ha <sup>-1</sup> -----		kg ha <sup>-1</sup>
P > F								
Fonte (F)	0,12	0,79	0,14	0,07	0,55	0,61	0,96	0,016*
Dose (D)	0,28	0,98	0,28	0,38	0,64	0,09	0,38	0,002**
Profundidade (P)	8,11.10 <sup>-8***</sup>	0,32	2,92 .10 <sup>-8***</sup>	1,1.10 <sup>-13***</sup>	0,53	2.10 <sup>-6***</sup>	8,82.10 <sup>-10***</sup>	-
Bloco (B)	9,47.10 <sup>-13***</sup>	0,45	4,43.10 <sup>-13***</sup>	2,2.10 <sup>-16***</sup>	0,05*	2,82.10 <sup>-7***</sup>	2,29.10 <sup>-16***</sup>	0,09
F x D	0,10	0,54	0,08	0,01*	0,17	0,87	0,41	
F x P	0,21	0,66	0,26	0,95	0,28	0,62	0,76	-
D x P	0,68	0,16	0,45	0,68	0,09	0,87	0,82	-
F x D x P	0,54	0,54	0,44	0,11	0,003**	0,31	0,86	-

MI: microporosidade; MA: macroporosidade; PT: porosidade total; Ds: densidade do solo; Ko: condutividade hidráulica saturada; Est C: estoque de carbono; Est N: estoque de nitrogênio. \* Significativo em  $p < 0,10$ ; \* em  $p < 0,05$ ; \*\* em  $p < 0,01$ ; \*\*\* em  $p < 0,001$ .

A porosidade total do solo (PT) variou de 0,34 a 0,53 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> entre os tratamentos e profundidades avaliados, e a influência da profundidade sobre essa variável foi estatisticamente significativa. Observa-se também (Figura 1.3), que a PT ajustou-se melhor ao modelo quadrático, indicando que há redução da PT em profundidade mesmo em solos alagados.

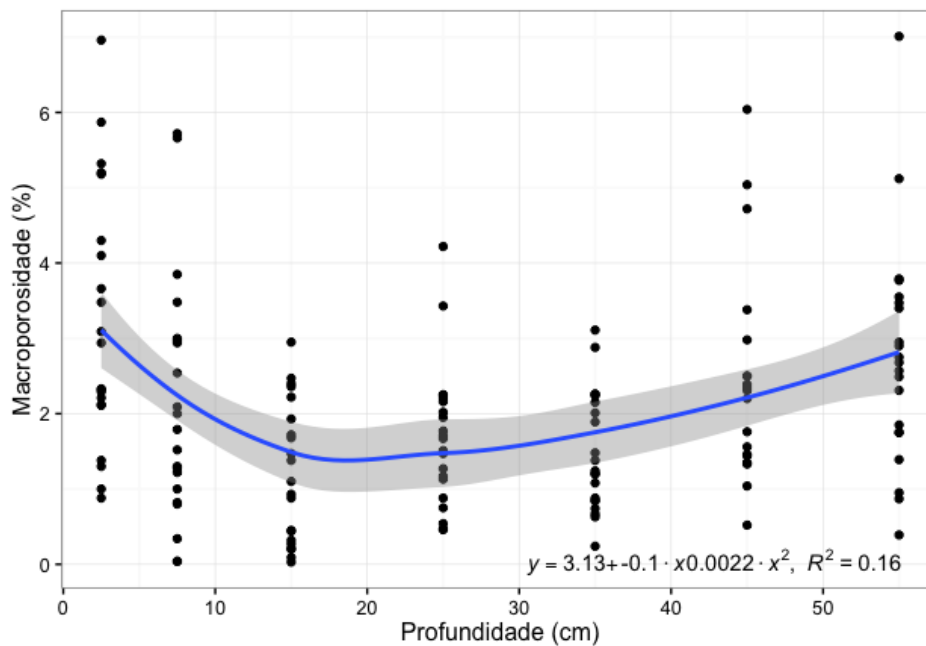


**Figura 1.3.** Porosidade total no perfil de um Gleissolo Háplico sob cultivo de arroz irrigado por inundação. Goianira, GO.

A alternância dos ciclos de inundação e secagem a que esses solos são submetidos favorece a acomodação das partículas finas nos espaços porosos do solo, diminuindo sua PT (Bhagat, 2003; Roscoe et al., 2006, Zhou et al., 2014). Além disso, a secagem do solo também modifica o estado de oxidação dos íons de Fe e Mn, formando maior quantidade de microagregados (Bhagat, 2003).

Condições muitas vezes inadequadas de conteúdo de água do solo nas épocas de preparo e semeadura, podem contribuir para a compactação do solo, favorecendo a diminuição da PT (Bamberg et al., 2009). O adensamento provocado pelo peso das camadas suprajacentes (Manrique & Jones, 1991), também pode provocar a diminuição da PT, em especial nas camadas mais profundas.

A macroporosidade (Ma) variou de 0,052 a 0,505  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  entre os tratamentos e profundidades avaliadas (Figura 1.4), mas não foram observadas variações significativas em razão da profundidade ou tratamentos (Tabela 1.1).



**Figura 1.4.** Macroporosidade no perfil de um Gleissolo Háplico sob cultivo de arroz irrigado por inunda o. Goianira, GO.

Pauletto et al. (2005), em Capão do Leão, RS, estudando um Gleissolo Háplico por um período de três anos, também não detectaram efeitos significativos na Ma do solo, inferindo que o período de tempo de avalia o foi insuficiente para que os tratamentos mostrassem efeitos significativos. Por outro lado, Lima et al. (2008) observaram forte redu o da Ma e da PT em um Planossolo Háplico em área de várzea, também em Capão do Leão, RS. Mentges et al., (2013) detectaram efeito significativo na redu o da PT e da Ma em Gleissolo Háplico, após oito anos de cultivo com arroz irrigado por inunda o.

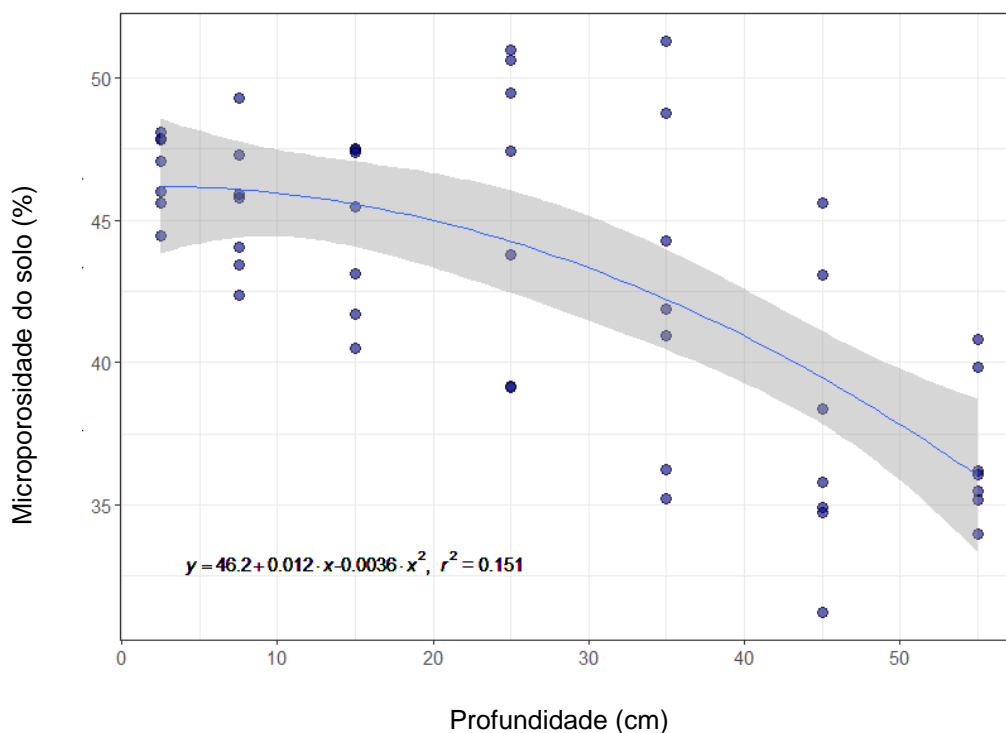
Em solos irrigados por inunda o, as opera es de preparo seguidas pelo alagamento promovem um desarranjo da estrutura do solo, resultando em redu o da Ma. Mas para sistemas de cultivo inundado, a menor Ma pode refletir em economia de água por redu o na percola o.

Verifica-se (Tabela 1.1), que há intera es significativas da microporosidade do solo (Mi) com a profundidade do solo. Os valores médios de Mi variaram de 0,312 a 0,513 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> e diminuíram significativamente em profundidade, com menor varia o até 20 cm (Figura 1.5). Esse efeito compõe uma das características tpicas dos Gleissolos (Embrapa, 2013). No entanto, Haynes et al. (1998) relataram que a adi o de fertilizantes afeta a composi o química da soluço do solo, podendo interferir na dispersão/flocula o de

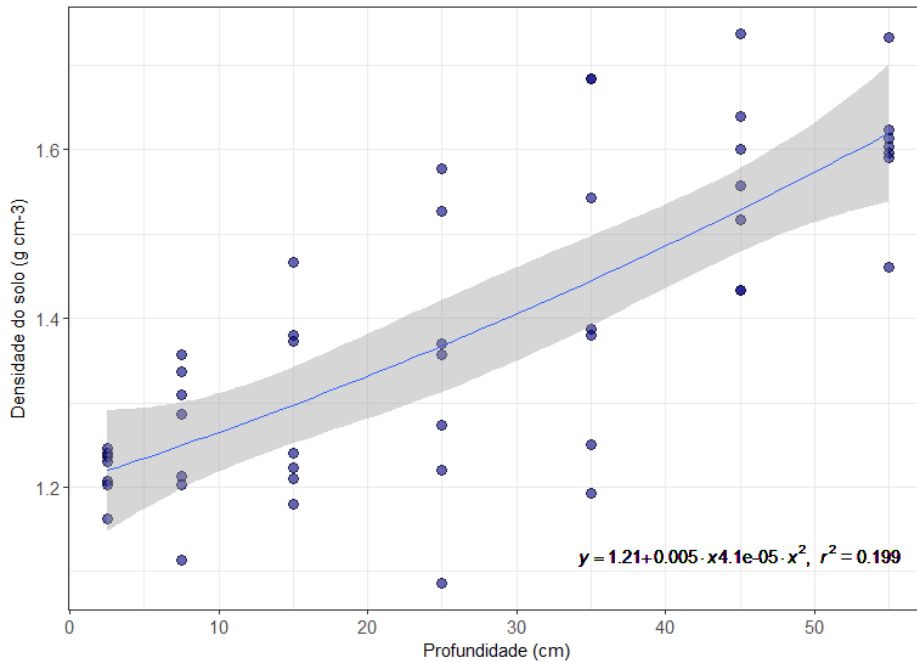
partículas de argila e, assim, afetar a estabilidade da agregação do solo, refletindo maior ou menor estabilidade da matéria orgânica do solo (MO).

Segundo Torres & Saraiva (1999) e Meurer et al. (2010), a água de percolação promove a eluviação das partículas de argila dispersa e o rearranjo dessas partículas altera a matriz sólida do solo. Com isso, a porosidade natural passa a ser obstruída pelas partículas de argila iluviadas, reduzindo a aeração e a infiltração de água e elevando a densidade do solo. Dessa forma a PT passa a ser composta quase que exclusivamente por Mi. Tal fato, explica, ao menos em parte, o efeito significativo da interação fonte e dose de fertilizante nitrogenado nos valores da Mi e na densidade do solo (Ds) (Tabela 1.1).

A Ds variou de 1,09 a 1,74 g cm<sup>-3</sup> entre os tratamentos, aumentando significativamente em profundidade (Figura 1.6). Devido à sedimentação de partículas, a Ds pode aumentar enquanto o solo ainda está submerso. As partículas podem se assentar e consolidar o solo devido à floculação de argila anteriormente dispersa, dependendo possivelmente da textura do solo, do tipo de argila (Bhagat, 2003), e da concentração de íons na solução.



**Figura 1.5.** Microporosidade no perfil de um Gleissolo Háplico sob cultivo de arroz irrigado por inundação. Goianira, GO.



**Figura 1.6.** Densidade do solo no perfil de um Gleissolo Háplico sob cultivo de arroz irrigado por inundação. Goianira, GO.

O menor valor da Ds na profundidade de 0-5 cm pode estar associado ao revolvimento do solo com as gradagens, que atuam até, aproximadamente, 15 a 20 cm de profundidade. Após esta profundidade, observou-se um aumento gradativo da Ds (Figura 1.6). Importante ressaltar que no momento das coletas, constatou-se que essa camada apresentava, nitidamente, maior resistência, em razão da elevada compactação do solo. Nas figuras 1.4, 1.5 e 1.6, pode-se observar a baixa amplitude de variação dos valores de Mi, PT e Ds até a profundidade de 20 cm, apresentando maior uniformidade nessa região do perfil do solo em toda a área experimental. Esse fato pode estar associado a formação de uma camada compactada originada das operações de preparo convencional do solo, conforme já identificado em diversos estudos realizados em Planossolo, cultivado com arroz irrigado por inundação (Pedrotti et al., 2005; Pauletto et al., 2005; Bamberg et al., 2009).

O excessivo revolvimento do solo também interfere na dispersão de argila do solo, fracionando os agregados (Carvalho et al., 1999). Simultaneamente ao processo de dispersão de argila, tanto devido aos fertilizantes quanto ao revolvimento do solo, as forças mecânicas resultantes do tráfego intenso das máquinas agrícolas promovem aproximação dos microagregados e das partículas

unitárias dispersas (Câmara & Klein, 2005) sendo, portanto, considerada a principal prática de cultivo responsável pela ocorrência da compactação do solo, na camada de 10-20 cm (Richart et al., 2005).

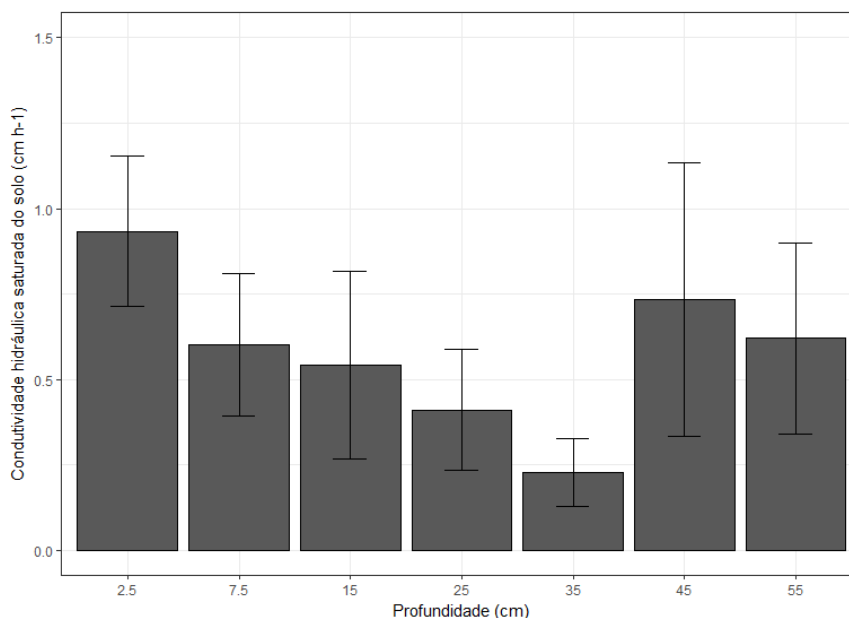
Na compactação do solo há aumento de massa por unidade de volume, resultando em aumento na  $D_s$  e na  $M_i$ , o que contribui para redução da  $PT$  e  $Ma$  (Beutler et al., 2005). Apesar de estar dentro do que normalmente se observa em solos hidromórficos de drenagem mal a imperfeita, o solo em estudo apresentou valores bem superiores aos registrados em áreas de Gleissolos Háplicos sob o sistema de cultivo convencional de arroz inundado, desde a camada 0-5 cm.

Kirchhof & So (1996) estudando solos inundados de textura média, concluíram que valores de  $D_s$  acima de  $1,40 \text{ g cm}^{-3}$  em profundidade, favorecem o cultivo de arroz irrigado por inundação, devido a formação de camadas de impedimento às perdas de água por percolação e nutrientes por lixiviação. Entretanto, os valores de  $D_s$  podem ser considerados baixos e não limitantes à produtividade do arroz, em relação aos valores registrados como restritivos em experimentos com culturas de sequeiro. Reinert et al., (2008) verificaram que, em solo de textura média, houve redução do crescimento das plantas a partir da  $D_s$  de  $1,75 \text{ g cm}^{-3}$ .

Os valores da condutividade hidráulica saturada ( $K_o$ ) são inferiores a  $1,25 \text{ cm h}^{-1}$  (Figura 1.7). Segundo Bernardo (2002), solos que apresentam valores de  $K_o$  maiores que  $3 \text{ cm h}^{-1}$  são solos com  $K_o$  muito alta; valores entre 1.5 e  $3 \text{ cm h}^{-1}$ , solos de alta  $K_o$ ; valores entre 0,5 e  $1.5 \text{ cm h}^{-1}$ , média  $K_o$ ; valores abaixo de  $0,5 \text{ cm h}^{-1}$ , baixa  $K_o$ . Com base nas classes de  $K_o$  propostas por este autor, o solo em estudo apresenta média a baixa  $K_o$ , o que já era esperado, em razão da classe de solo. Fiori et al. (2010), estudando a variabilidade da  $K_o$  das principais classes de solos do estado de Goiás, encontraram valores menores ou iguais a  $0,36 \text{ cm h}^{-1}$ , refletindo piores condições de drenagem do perfil do solo. No entanto, essa condição da  $K_o$  é favorável ao cultivo de arroz devido às suas adaptações aos ambientes mal drenados.

A  $K_o$  não foi afetada pelas fontes avaliadas (Tabela 1.1). De modo geral, os valores de  $K_o$  decrescem até a profundidade de 35 cm, para elevarem-se posteriormente, como pode ser visualizado na Figura 1.7. Embora sem

significância estatística, é importante salientar que qualquer fator que exerça influência sobre o tamanho e a configuração dos poros do solo exercerá também influência sobre a condutividade hidráulica, em maior ou menor escala. Aumentando a  $D_s$  e diminuindo a  $PT$ , simultaneamente, diminuirá a  $K_o$ .

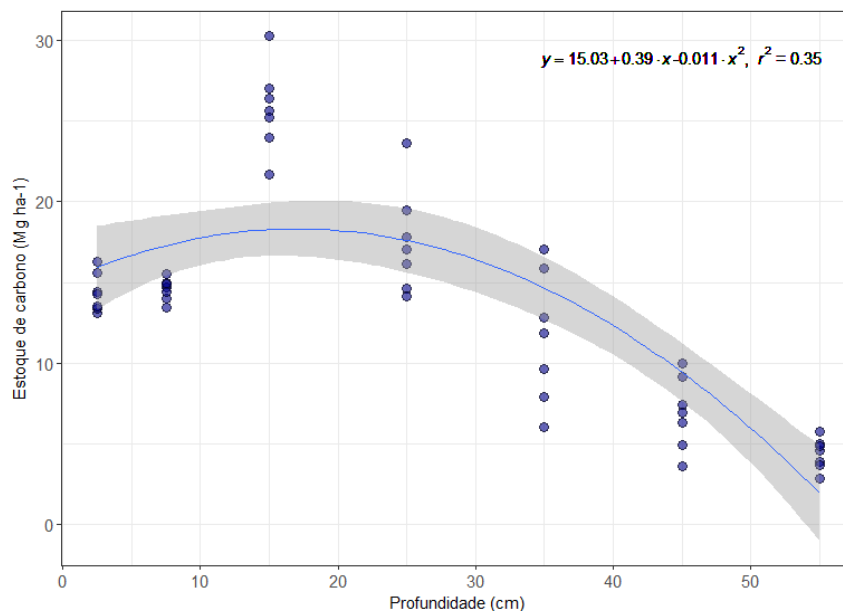


**Figura 1.7.** Condutividade hidráulica do solo saturado no perfil de um Gleissolo Háplico sob cultivo de arroz irrigado por inundação. Goianira, GO.

Conforme análise de variância (Tabela 1.1), observou-se efeito significativo da profundidade sobre o estoque de carbono do solo, com valores médios variando de 2,88 a 30,24 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 1.8).

Em geral, o carbono apresenta maior acúmulo nas camadas superficiais do solo com decréscimo em profundidade na maioria dos solos tropicais, devido a contribuição de material vegetal na superfície do solo (Cerri et al., 2004). No entanto, observa-se um acúmulo de carbono na camada de 10-20 cm superior ao da superfície (Figura 1.8). O revolvimento do solo, por ocasião do preparo convencional, permite a incorporação do resíduo que está na superfície, favorecendo o incremento do carbono nessa profundidade (Rosa et al., 2011). Importante observar que na medida em que há redução no carbono há aumento da  $D_s$  no perfil (Figura 1.6). O acúmulo de carbono na camada de 10-20 cm em relação a superfície, também foi observado por Nascimento et al. (2009) e Carlos (2017) em um Gleissolo Háplico em Cachoeirinha, RS, por Rosa et al. (2011) em

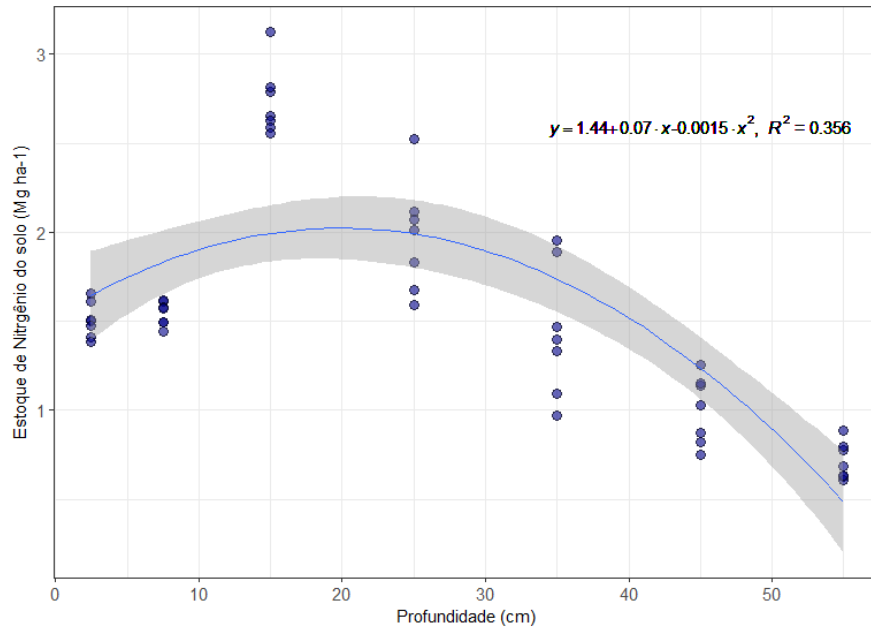
Planossolo Háplico em Capão do Leão, RS, todos sob o cultivo de arroz irrigado por inundaçã. Abaixo de 20 cm, o estoque de carbono volta a diminuir gradativamente e isto se explica, em parte, pela diminuiçã dos teores de MO ao longo do perfil.



**Figura 1.8.** Estoque de Carbono no perfil de um Gleissolo Háplico sob cultivo de arroz irrigado por inundaçã. Goianira, GO.

A profundidade afeta o estoque de nitrogênio total do solo (Tabela 1.1 e Figura 1.9), que acompanha o comportamento observado para o estoque de carbono, com forte correlaçã positiva entre ambos ( $r = 0,971$ ) (Figura 1.10). Segundo Bernoux et al. (1999) e Neu (2005), o comportamento do estoque de nitrogênio é similar ao do carbono ao longo do perfil do solo, ou seja, com o aumento da profundidade no perfil de solo, o estoque de nitrogênio tende a diminuir. A estreita relaçã do estoque de carbono com o nitrogênio é relatada em diversos estudos, como o de Dos Santos (2007) em Gleissolos e Cambissolos sob floresta nativa e em Gleissolos cultivados com arroz inundado por Marrenjo (2015) e Carlos (2017).

No caso específico do nitrogênio, os ciclos de alagamento e drenagem do solo, por ocasiã dos cultivos de arroz irrigado, podem ter contribuído para a diminuiçã do estoque de nitrogênio total, pois aumentam as perdas de N por volatilizaçã, desnitrificaçã, lixiviaçã (Fageria et al., 2007).

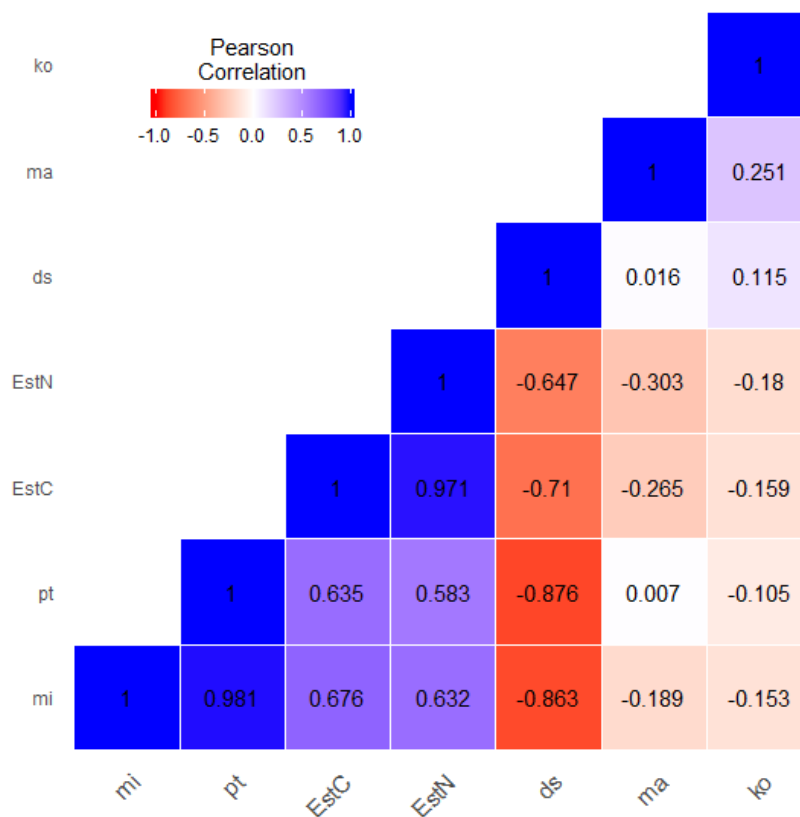


**Figura 1.9.** Estoque de nitrogênio no perfil de um Gleissolo Háplico sob cultivo de arroz irrigado por inundação. Goianira, GO.

A influência negativa que o aumento da Ds exerce sobre os valores de estoque de carbono total e de nitrogênio total do solo é corroborada pela correlação negativa encontrada entre estas variáveis e a Ds, em contrapartida apresenta significativa relação positiva com a PT (Figura 1.10), em acordo com o comportamento esperado. É possível observar que a PT, no presente trabalho, está mais associada com a Mi, visto que ocorre forte correlação positiva ( $r = 0,981$ ), em relação ao Ma, sendo praticamente desprezível a correlação da PT com a Ma.

A PT foi inversamente relacionada à Ds, com o aumento da profundidade (Figuras 1.4, 1.5 e 1.6), sendo composta quase que exclusivamente de Mi. Pela análise dos coeficientes de correlação de Pearson, verifica-se forte correlação negativa entre a Ds e a PT, bem como a forte correlação positiva da PT com a Mi (Figura 1.10). Essa condição é típica de áreas de várzeas, sendo acentuada com o cultivo arroz por inundação. A maior proporção de Mi em relação aos Ma ao longo do perfil desse solo pode ter ajudado na maior retenção hídrica, evidenciadas pela curva de retenção pouco inclinada em relação ao eixo do potencial matricial, principalmente em tensões de sucção mais elevadas (>100 kPa) (Figura 1.11), ou seja, sem queda abrupta na umidade do solo à medida que

aumenta a pressão aplicada à amostra, confirmado pelos baixos valores de  $n$  (Tabela 1.2). O parâmetro  $n$  representa a distribuição dos poros, refletindo,



(mi = microporosidade; pt = porosidade total; Est C = estoque de carbono do solo; Est N = estoque de nitrogênio do solo; ds = densidade do solo; ma = macroporosidade; Ko = condutividade hidráulica saturada)

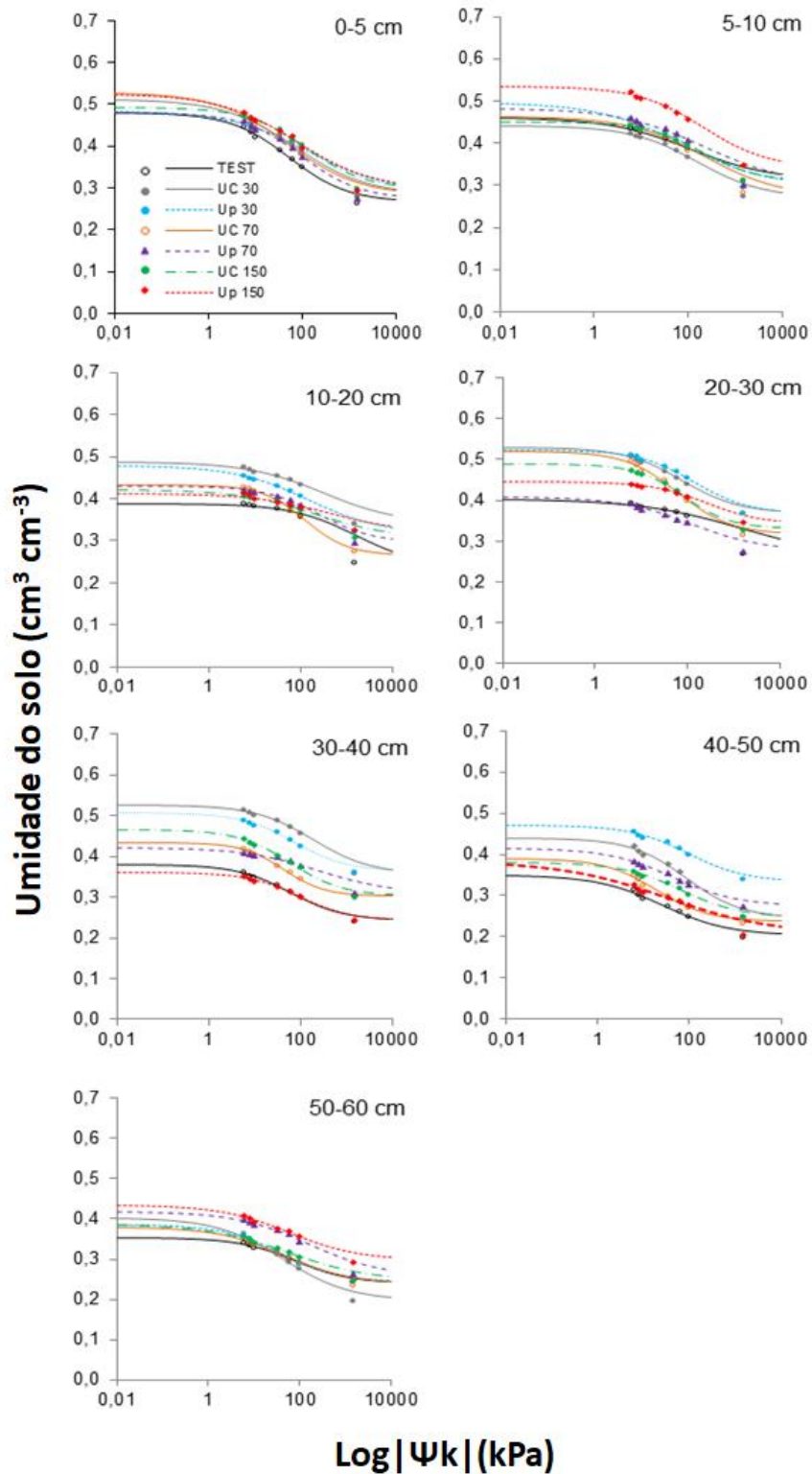
**Figura 1.10.** Coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis estudadas, em Gleissolo Háplico, cultivado com arroz tropical irrigado por inundação. Goianira, GO.

portanto, a forma da curva. Em outras palavras, quanto maior o valor do parâmetro  $n$ , maior a inclinação da curva em relação ao eixo do potencial matricial, como observado nos solos estudados por van Genuchten (1980).

Os altos valores de  $R^2$ , variando de 0,94 a 0,99, indicam bom ajuste dos dados estimados aos valores observados (Tabela 1.2).

As curvas de retenção de água no solo foram semelhantes em todas as profundidades, não se observando diferenças entre os tratamentos aplicados no solo (Figura 1.11). No entanto, é possível observar que, de modo geral, na camada 10-20 cm, as curvas são menos acentuadas, o que pode estar associado aos maiores valores de  $D_s$  e menores de  $PT$  encontrados nessa camada. O

comportamento da curva para este solo foi semelhante aos encontrados por Juhász et al. (2006) em Gleissolo Háplico sob Cerradão, porém as curvas do presente trabalho apresentaram-se menos inclinadas, ou seja, maior retenção hídrica, decorrente, em partes, da influência que o cultivo exerce no comportamento físico-hídrico do solo. Vários estudos demonstram que as atividades de cultivo interferem no comportamento físico-hídrico de solos inundados, como o realizado por Parfitt et al. (2014) ao estudar o impacto da sistematização nos atributos físicos de solos de várzeas (Gleissolo Háplico e Planossolo Háplico) e por Mentges et al. (2013) ao avaliar o efeito do uso agrícola de um Gleissolo Háplico cultivado com arroz inundado.



**Figura 1.11.** Curvas de retenção de água do solo e umidades observadas (marcadores) nas tensões (0, -6, -8, -10, -33, -60, -100 e -1500 kPa), dentro das profundidades 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-30; 30-40 e 40-50 cm, em Gleissolo Háplico. As estimativas dos parâmetros da forma são apresentadas na Tabela 2.

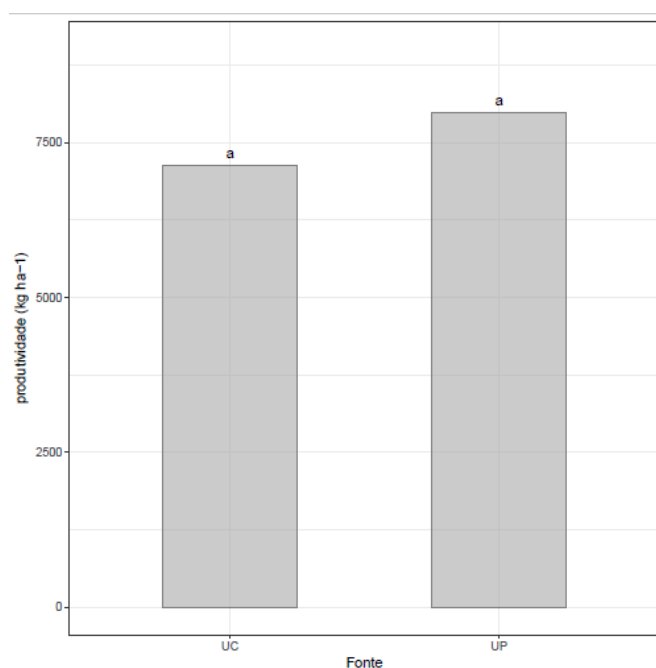


**Tabela 1.2** Estimativas dos parâmetros de forma do modelo van Genuchten, ajustados para representar a retenção de água do solo dentro das profundidades 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-30; 30-40 e 40-50 cm em um Gleissolo Háplico.

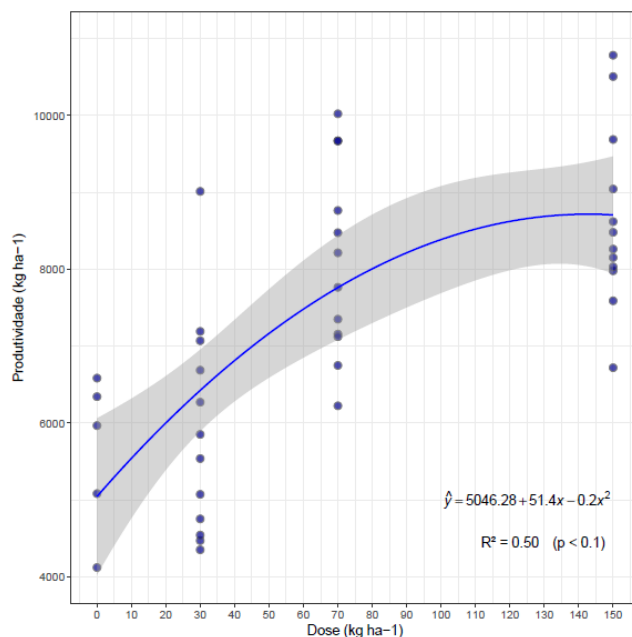
TRAT	0-5 cm			5-10 cm			10-20 cm		
	$\alpha$	$n$	$R^2$	$\alpha$	$n$	$R^2$	$\alpha$	$n$	$R^2$
TEST	$1.3 \cdot 10^{-3}$ (7.1 $10^{-4}$ )	1.688(0.051)	0.99	$9 \cdot 10^{-3}$ (7.2 $10^{-4}$ )	1.499(0.063)	0.99	$6.9 \cdot 10^{-6}$ (4.3 $10^{-6}$ )	1.613(0.267)	0.99
UC 30	$1.3 \cdot 10^{-3}$ (7.1 $10^{-4}$ )	1.565(0.045)	0.99	$3 \cdot 10^{-4}$ (2.3 $10^{-4}$ )	1.611(0.095)	0.99	$1.6 \cdot 10^{-4}$ (9.1 $10^{-5}$ )	1.523(0.080)	0.99
UP 30	$6 \cdot 10^{-4}$ (4.1 $10^{-4}$ )	1.516(0.066)	0.99	$1.6 \cdot 10^{-3}$ (9 $10^{-4}$ )	1.479(0.036)	0.99	$4.6 \cdot 10^{-4}$ (2.4 $10^{-4}$ )	1.538(0.057)	0.99
UC 70	$2.2 \cdot 10^{-3}$ (1.1 $10^{-3}$ )	1.570(0.037)	0.99	$2.5 \cdot 10^{-4}$ (1.9 $10^{-4}$ )	1.534(0.091)	0.99	$1 \cdot 10^{-4}$ (6.2 $10^{-5}$ )	1.913(0.113)	0.99
UP 70	$4 \cdot 10^{-4}$ (3 $10^{-4}$ )	1.697(0.084)	0.99	$3.6 \cdot 10^{-4}$ (2.4 $10^{-4}$ )	1.483(0.066)	0.99	$7.2 \cdot 10^{-5}$ (7.2 $10^{-4}$ )	1.727(0.199)	0.99
UC 150	$3 \cdot 10^{-4}$ (2.2 $10^{-4}$ )	1.686(0.101)	0.99	$1.2 \cdot 10^{-4}$ (1.2 $10^{-4}$ )	1.721(0.178)	0.99	$3.1 \cdot 10^{-4}$ (2.2 $10^{-4}$ )	1.513(0.087)	0.99
UP 150	$1.4 \cdot 10^{-3}$ (8 $10^{-4}$ )	1.525(0.045)	0.99	$1.8 \cdot 10^{-4}$ (1.4 $10^{-4}$ )	1.621 (0.115)	0.96	$1 \cdot 10^{-3}$ (9.1 $10^{-4}$ )	1.519(0.138)	0.98
TRAT	20-30 cm			30-40 cm			40-50 cm		
	$\alpha$	$n$	$R^2$	$\alpha$	$n$	$R^2$	$\alpha$	$n$	$R^2$
TEST	$4 \cdot 10^{-5}$ (3.2 $10^{-5}$ )	1.387(0.105)	0.99	$8.5 \cdot 10^{-4}$ (4.5 $10^{-4}$ )	1.738(0.062)	0.94	$5.6 \cdot 10^{-3}$ (5.2 $10^{-3}$ )	1.603(0.048)	0.97
UC 30	$6.8 \cdot 10^{-4}$ (3.7 $10^{-4}$ )	1.694(0.064)	0.99	$1.6 \cdot 10^{-4}$ (9 $10^{-5}$ )	1.679(0.095)	0.97	$5 \cdot 10^{-4}$ (5.3 $10^{-4}$ )	1.716(0.119)	0.99
UP 30	$2.2 \cdot 10^{-4}$ (1.5 $10^{-4}$ )	1.718(0.102)	0.99	$6 \cdot 10^{-4}$ (3.3 $10^{-4}$ )	1.746(0.073)	0.99	$5 \cdot 10^{-4}$ (7 $10^{-4}$ )	1.688(0.148)	0.97
UC 70	$7.2 \cdot 10^{-4}$ (3.1 $10^{-4}$ )	1.758(0.052)	0.99	$6.5 \cdot 10^{-4}$ (3.3 $10^{-4}$ )	1.967(0.068)	0.99	$5.5 \cdot 10^{-3}$ (4 $10^{-4}$ )	1.767(0.055)	0.98
UP 70	$6 \cdot 10^{-4}$ (4.3 $10^{-4}$ )	1.555(0.076)	0.99	$2.3 \cdot 10^{-4}$ (2 $10^{-4}$ )	1.532(0.113)	0.99	$2.4 \cdot 10^{-3}$ (3 $10^{-3}$ )	1.611(0.065)	0.99
UC 150	$3 \cdot 10^{-4}$ (2 $10^{-4}$ )	1.851(0.087)	0.99	$8 \cdot 10^{-4}$ (3.5 $10^{-4}$ )	1.758(0.052)	0.99	$9.4 \cdot 10^{-4}$ (1.2 $10^{-3}$ )	1.669(0.107)	0.99
UP 150	$7.3 \cdot 10^{-5}$ (1 $10^{-4}$ )	1.722(0.285)	0.99	$3.4 \cdot 10^{-4}$ (2.5 $10^{-4}$ )	1.7654(0.104)	0.99	$8.6 \cdot 10^{-3}$ (9.5 $10^{-3}$ )	1.372(0.038)	0.99
	TRAT	50-60 cm							
		$\alpha$	$n$	$R^2$					
-	TEST	$6.5 \cdot 10^{-4}$ (7.5 $10^{-4}$ )	1.698 (0.123)	0.98	-	-	-	-	-
-	UC 30	$2.5 \cdot 10^{-3}$ (1.4 $10^{-3}$ )	1.592(0.041)	0.98	-	-	-	-	-
-	UP 30	$2.2 \cdot 10^{-3}$ (2 $10^{-3}$ )	1.665(0.058)	0.99	-	-	-	-	-
-	UC 70	$2.2 \cdot 10^{-3}$ (2 $10^{-3}$ )	1.582 (0.060)	0.99	-	-	-	-	-
-	UP 70	$4.2 \cdot 10^{-4}$ (4 $10^{-4}$ )	1.542(0.099)	0.98	-	-	-	-	-
-	UC 150	$2.6 \cdot 10^{-3}$ (2.4 $10^{-3}$ )	1.485(0.059)	0.99	-	-	-	-	-
-	UP 150	$2 \cdot 10^{-3}$ (1.5 $10^{-3}$ )	1.568(0.066)	0.99	-	-	-	-	-

TRAT= tratamentos; TEST = testemunha; UC = ureia comum; UP = ureia protegida; O erro padrão das estimativas está entre parênteses ( $n = 7$ ).  $R^2$ : o coeficiente de correlação de Pearson ao quadrado entre a umidade medida e prevista do solo ( $n = 147$ ).

As produtividades de grãos de arroz irrigado por inundação, cultivar BRS Catiana, não diferiram significativamente com as doses de 70 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 1.12). A cultivar apresentou resposta quadrática com o incremento na taxa de N na faixa de 0 a 150 kg ha<sup>-1</sup>. Pela equação de regressão foi obtido o valor máximo de produtividade na dose de 128, 5 kg ha<sup>-1</sup>, sendo a dose média econômica, ou seja, que atinge 90% da produtividade determinada em torno de 64 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 1.13). Essa dose está abaixo do encontrado por Fageria et al. (2003) que obteve a dose média econômica de três anos de experimentação em torno de 90 kg ha<sup>-1</sup> para arroz irrigado em Gleissolo Háplico, sob várzea tropical.



**Figura 1.12.** Efeito das fontes de fertilizante mineral nitrogenado sobre a produtividade de arroz tropical irrigado por inundação, BRS Catiana, em um Gleissolo Háplico em Goianira, GO.



**Figura 1.13.** Efeito das doses de fertilizante mineral nitrogenado sobre a produtividade de arroz tropical irrigado por inundação, BRS Catiana, em um Gleissolo Háplico em Goianira, GO.

As alterações nas propriedades físicas do solo não se refletiram na produtividade do arroz irrigado por inundação, pois as produtividades alcançadas foram elevadas e dependentes das doses de nitrogênio aplicadas no solo

A condição de saturação altera a consistência do solo, diminuindo a coesão entre as partículas e mantendo-o como um meio semifluido que não oferece resistência à penetração das raízes (Brady & Weil, 2008), permitindo, assim, o crescimento adequado das raízes no seu interior. Além disso, o arroz possui aerênquimas que permitem seu desenvolvimento em condições de deficiência de aeração (SOSBAI, 2016). Desta forma, as propriedades físicas do solo tem pouca influência na produtividade de arroz irrigado por inundação (Beutler et al., 2012; Beutler et al., 2014; Medeiros et al., 2005).

### 3.4 CONCLUSÕES

A microporosidade e a densidade do solo do Gleissolo Háplico foram as propriedades físicas mais afetadas pelo manejo do nitrogênio.

As alterações nas propriedades físicas do solo não interferiram na produtividade do arroz irrigado por inundação

Os estoques de carbono e de nitrogênio total diminuíram com o aumento da profundidade do solo.

A aplicação de nitrogênio aumenta a produtividade de grãos de arroz irrigado por inundação, sendo a dose 64 kg ha<sup>-1</sup> a que apresenta melhor eficiência de uso pela cultivar BRS Catiana.

### 3.5 REFERÊNCIAS

ANGHINONI, I.; GENRO Jr, S. A.; SILVA, L. S.; BOHNEN, H.; RHEINHEIMER, D.S.; OSÓRIO FILHO, B. D.; MACEDO, V.R.M.; MARCOLIN, E. **Fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha: IRGA, 2004. 51 p. (Boletim Técnico).

BAMBERG, A. L.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; TIMM, L. C.; PINTO, L. F. S.; LIMA, A. C. R.; SILVA, T. R. Densidade de um Planossolo sob sistemas de cultivo avaliada por meio da tomografia computadorizada de raios gama. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p. 1079-1086, 2009.

BEHERA, B. K.; VARSHNEY, B. P.; GOEL, A. K. Effect of puddling on puddled soil characteristics and performance of self-propelled transplanter in rice crop. **Agricultural Engineering International: CIGRE Journal**, v.10, 2009.

Bernardo, S. **Manual de irrigação**. 6.ed. Viçosa: UFV, 2002. 656 p.

BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; GERALDES, A. P. A.; FERNANDES, S. A. P. Carbono e Nitrogênio em Solo de uma Cronossequência de Floresta Tropical – Pastagem de Paragominas. **Rev. Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56. n. 4, p. 777-783, 1999.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.29, n. 6, p.843-849, 2005.

BEUTLER, A. N.; MUNARETO, J. D.; RAMÃO, C. J.; GALON, L. DIAS, N. P.; POZZEBON, B. C.; RODRIGUES, L. A. T.; MUNARETO, G. S.; GIACOMELI, R.; RAMOS, P. V. Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado em diferentes sistemas de manejo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 5, p. 1083-1091, 2012.

BEUTLER, A. N.; MUNARETO, J. D.; GRECO, A. M. F.; POZZEBON, B. C.; GALON, L.; GUIMARÃES, S.; BURG, G.; SCHMIDT, M. R.; DEAK, E. A.; GIACOMELI, R.; ALVES, G. S. Manejo do solo, palha residual e produtividade de arroz irrigado por inundação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 3, p. 1153-1162, 2014.

BHAGAT, R. M. Rice lands of South and South East Asia, some soil physical aspects. **College on Soil Physics**, Trieste, v. 3, p. 48-61, 2003.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades do solo**. 6. ed. Rio de Janeiro: Freitas, 1983. 647 p.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008. 975 p.

CÂMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.29, n. 5, p.789-796, 2005.

CARLOS, F. S. **Índices de qualidade do solo em sistemas de produção de arroz irrigado**. 2017. 166 F. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)- Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

CARVALHO, E. J. M.; FIGUEIREDO, M. S.; COSTA, L. M. Comportamento Físico-hídrico de um Podzólico Vermelho Amarelo Câmbico Fase Terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesq. agropec. bras.**, v.34, n. 2, p. 257-265, fev. 1999.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; CERRI, C. E. P.; FELLER, C. Carbon cycling and sequestration opportunities in South America: the case of Brazil. **Soil Use and Management**, v. 20, n. 2, p. 248-254, 2004.

DE MELO CARVALHO, M. T.; MAIA, A. H. N.; MADARI, B. E.; BASTIAANS, L. VAN OORT, P. A. J.; HEINEMANN, A. B.; SOLER DA SILVA, M. A.; PETTER, F. A.; MARIMON JR, B. H.; MEINKE, H. Biochar increases plant-available water in a sandy loam soil under an aerobic rice crop system. **Solid Earth**, n. 5, v. 2, p. 939–952, set. 2014.

DOS SANTOS, E. **Carbono, nitrogênio e relação c/n em Gleissolo e Cambissolo sob diferentes tipologias vegetais na área de ocorrência da floresta ombrófila densa, Antonina - PR**. 2007. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)- Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. 3. ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2017. 575 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. 353 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Carta-imagem Fazenda Palmital**. Goianira-GO: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2013. 1 mapa: 87,6 ha. Escala: 1:4.000.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. Dos. **Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 250p.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; CUTRIM, V. A. **Eficiência de uso de nitrogênio por genótipos de arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, Comunicado Técnico n. 135, 2007. 3 p.

FIORI, J. P. O.; CAMPOS, J. E. G.; ALMEIDA, L. Variabilidade da condutividade hidráulica das principais classes de solos do estado de Goiás. **Geociências**, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 229-235, 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Statistical Yearbook 2013**. Rome: World Food and Agriculture, 2013. 307 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Food outlook**: biannual report on global food markets. Rome, 2016. 139 p.

FREITAS JÚNIOR, E.; SILVA, E. M. da. Uso da centrífuga para determinação da curva de retenção de água do solo, em uma única operação. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 19, n. 11, p. 1423-1428, nov. 1984.

HAYNES, R.; NAIDU, R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: A review. **Nutr. Cycl. Agroecosys**, v. 51, p.123-137, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA-IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em:< [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Levantamento\\_Sistematico\\_da\\_Producao\\_Agricola\\_\[mensal\]/Fasciculo/2017/Prognostico\\_201711.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/2017/Prognostico_201711.pdf)>. Acesso em: 01 maio 2017.

KIRCHHOF, G.; SO, H. B. **Management of clay soils for rainfed lowland rice-based cropping systems**. In: ACIAR INTERNATIONAL WORKSHOP, Camberra, 1996. Proceedings. Camberra, ACIAR, 1996. 259 p.

KOTTEK, M.; GRIESER, J; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorol. Z.**, Berlim, v.15, n.3, p. 259-263, 2006.

JUHÁSZ, C. E. P.; CURSI, P. R.; COOPER, M.; OLIVEIRA, T. C.; RODRIGUES, R. R. Dinâmica físico-hídrica de uma topossequência de solos sob Savana Florestada (Cerradão) em Assis, SP. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 30, n.3, p.401-412, 2006.

LIMA, C. L. R.; PILLON, C. N.; SUZUKI, L. E. A. S.; CRUZ, L. E. C.; Atributos físicos de um Planossolo Háptico sob sistemas de manejo comparados aos do campo nativo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1849-1855, 2008.

MANRIQUE, L. A.; JONES, C. A. Bulk density of soils in relation to soil physical and chemical properties. **Soil Sci Soc Am J.**, v. 55, n.2, p. 476-81, 1991.

MARRENJO, G. J. **Comportamento do carbono e nitrogênio em Gleissolos sob diferentes usos da terra no sul de Minas Gerais**. 2015. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

MEDEIROS, R. D. de.; SOARES, A. A.; GUIMARAES, R. M. Compactação do solo e manejo da água. I: efeitos sobre a absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.29, n.5, p.940-947, 2005

MENTGES, M. I.; REICHERT, J. M.; GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; XAVIER, A. Alterações estruturais e mecânicas de solo de várzea cultivado com arroz irrigado por inundação. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.37, n. 1, p.221-231, 2013.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 4. ed. Porto Alegre, Evangraf, 2010. 264 p.

NASCIMENTO, P. C.; BAYER, C.; NETTO, L. F. S.; VIAN, A. C.; VIEIRO, F.; MACEDO, V. C. M.; MARCOLIN, E. Sistemas de manejo e a matéria orgânica de solo de várzea com cultivo de arroz. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p. 1821-1827, 2009.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis Part 3 - Chemical methods**. SSSA Book Ser. 5.3. Madison: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 1996. Cap. 34, p. 961-1010.

NEU, V. **Influência da Cobertura Vegetal na Ciclagem de Nutrientes Via Solução do Solo na Região de Manaus – AM**. 2005. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, 2005.

OLIVEIRA, V. A.; RODRIGUES, C. **Levantamento detalhado dos solos da Fazenda Palmital, município de Goianira - GO**. Viasat, Goiânia. 2012 p. 81.

PARFITT, J. M. B.; TIMM, L. C.; REICHARDT, K.; PAULETTO, E. A. Impacts of land leveling on lowland soil physical properties. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 38, n. 1, p. 315-326, Feb. 2014 .

PAULETTO, E. A.; BORGES, J. R.; SOUSA, R. O. de., PINTO, L. F. S.; SILVA, J. da.; LEITZKE, V. W. Avaliação da densidade e da porosidade de um Gleissolo submetido a diferentes sistemas de cultivo e diferentes culturas. **Rev. Bras. De Agrocência**, Pelotas, v. 11, n. 2, p. 207-210, 2005.

PEDROTTI, A. PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L.; CRESTANA, S. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo. **Pesq. agropec. bras**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 709-715, 2001.

RICHART, A.; FILHO, J. T.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.26, n.3, p.321-344, 2005.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 32, n. 5, p.1805-1816, 2008.

ROSA, C. M.; CASTILHOS, R. M. V.; PAULETTO, E. A.; PILLON, C. N.; LEAL, O. A. Conteúdo de carbono orgânico em Planossolo Háplico sob sistemas de manejo do arroz irrigado. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1769-1776, 2011.

ROSCOE, R.; MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento físico do solo na obtenção de compartimentos mensuráveis para uso em simuladores da dinâmica da matéria orgânica. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (Ed). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**: Modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p.107-132.

SAS Institute Inc.: 2008. **SAS Version 9.2© 2002–2008**, Cary, NC, USA, 2008.

SILVA, L. S.; SOUSA, R. O.; POCOJESKI, E. Dinâmica da matéria orgânica em ambientes alagados. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap. 27, p. 525-544.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ- SOSBAI. **Arroz irrigado**: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Pelotas: SOSBAI, 2016. 200 p.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil taxonomy**: Keys to soil taxonomy. 11 ed. Washington: DC, USDA Natural Resources Conservation Service, 2014, 346 p.

SOUSA, R. O.; CAMARGO, F. A. O.; VAHL, L. C. Solos alagados (Reações redox). In: MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. 1. ed. Porto Alegre: Genesis, 2000. cap. 7, p.127-149.

TEAM, R. C. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2013.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 23).

van GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. **Soil Sci Soc Am J**, v. 58, p. 175-80, 1994.

ZHOU, W.; LV, T. F.; CHEN, Y.; WESTBY, A. P.; REN, W. J. Soil physicochemical and biological properties of paddy-upland rotation: a review. **The ScientificWorld Journal**, Wenjiang, jun. 2014.

#### 4. EMISSÃO DE METANO E ÓXIDO NITROSO EM ARROZ IRRIGADO POR INUNDAÇÃO EM VÁRZEA TROPICAL EM RAZÃO DO USO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS

##### RESUMO

A agricultura é um dos setores que mais contribuem para as emissões globais de  $N_2O$  e  $CH_4$ . A utilização de fertilizantes nitrogenados é decisiva para a produtividade das culturas, entretanto, representa também uma das grandes fontes de emissão do  $N_2O$ . Por outro lado, em sistemas alagados tropicais, expostos a temperaturas elevadas, em que as reações podem ocorrer em maior velocidade e a atividade biológica pode ser mais intensa, espera-se incremento nas emissões de metano. O estudo teve por objetivo avaliar a dinâmica dos fluxos e quantificar as emissões de óxido nitroso ( $N_2O$ ) e metano ( $CH_4$ ), bem como estimar a eficiência do uso de nitrogênio decorrente da aplicação de fertilizantes nitrogenados em arroz tropical irrigado por inundação. O experimento foi conduzido em condições de campo, em Gleissolo Háplico, em delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições. Os tratamentos resultaram da combinação entre duas fontes (ureia comum (UC) e ureia protegida [ureia revestida com 0,15% Cu e 0,4% B] (UP)), e três doses totais de nitrogênio (30, 70, 150  $kg\ ha^{-1}$ ), mais a testemunha, sem aplicação de N. As coletas dos gases foram realizadas na safra 2014/2015, na entressafra 2015, e na safra 2015/2016. As concentrações de  $N_2O$  e  $CH_4$  foram determinadas em cromatógrafo gasoso. Para determinação de nitrato ( $NO_3^-$ ), amônio ( $NH_4^+$ ) e pH do solo, na entressafra (período seco), foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-10 cm. Na safra (período inundado), as coletas das soluções foram realizadas por meio de extratores, e, nessa solução foram determinados também, os valores de potencial redox (Eh). Os fluxos de  $N_2O$  do solo variaram de -128,63 a 369,25  $\mu g\ m^{-2}\ h^{-1}$  de N- $N_2O$  safra 2014/2015, de -52,95 a 274,34  $\mu g\ m^{-2}\ h^{-1}$  de N- $N_2O$  na entressafra e, de 54,28 a 862,41  $\mu g\ m^{-2}\ h^{-1}$  de N- $N_2O$  safra 2015/2016. Os fluxos de  $CH_4$  variaram entre -62,96 a 476,39  $g\ ha^{-1}\ h^{-1}$  C- $CH_4$  na safra 2014/2015 enquanto que, em 2015/2016 a variação foi de -374,67 a 813,61  $g\ ha^{-1}\ h^{-1}$  de C- $CH_4$ . A ureia protegida não diminuiu significativamente as emissões de  $N_2O$  em relação à ureia comum, bem como não apresentou efeito nas emissões de  $CH_4$ . As emissões de  $CH_4$  foram potencializadas com a incorporação dos restos culturais do arroz. A dose 64  $kg\ ha^{-1}$  de N apresentou a melhor eficiência de uso de N fertilizante para cultivar BRS Catiana, com a menor intensidade de emissão.

*Palavras-chave:* Fator de emissão,  $N_2O$ , *Oryza sativa*, eficiência de uso de nitrogênio

## ABSTRACT

Agriculture is one of the sectors that most contributes to the N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> global emissions of. The nitrogen fertilizers use is decisive for crop yield enhancement, however, it is also one of the major sources of N<sub>2</sub>O emissions. On the other hand, in tropical flooded systems, submitted to high temperatures, the reactions may occur at higher rates and biological activity may be more intense, an increase in methane emissions is expected. The aim of this study was to evaluate the fluxes and to quantify the nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) and methane (CH<sub>4</sub>) emissions, as well as to estimate the nitrogen use efficiency of fertilizer applied to tropical rice in paddy fields. The experiment was conducted under field conditions, in Gleissolo Háplico, in a randomized complete block design, with three replications. The treatments resulted from the combination of two sources (common urea (UC) and protected urea [urea coated with 0.15% Cu and 0.4% B] (UP)), and three total doses of nitrogen (30, 70, 150 kg ha<sup>-1</sup>), control added, without application of N. The gas samples were collected in the 2014/2015 crop season (at harvest), in the off-season 2014, and in the 2015/2016 crop season (at harvest). The concentrations of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> were determined by gas chromatography. For the determination of nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) and soil pH, in the dry season, soil samples were collected at 0-10 cm depth. In the harvest (flooded period), the solutions were collected using extractors, and in this solution the values of redox potential (Eh) were also determined. Soil N<sub>2</sub>O fluxes ranged from -128.63 to 369, 25 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> of N-N<sub>2</sub>O crop season 2014/2015, from -52.95 to 274, 34 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> of N -N<sub>2</sub>O in the off season, and from 54.28 to 862.41 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> of N-N<sub>2</sub>O crop season 2015/2016. The CH<sub>4</sub> fluxes ranged from -62.96 to 476.39 g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> C-CH<sub>4</sub> in the 2014/2015 crop season, while in 2015/2016 the variation was -374, 67 to 813.61 g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> of C-CH<sub>4</sub>. Protected urea did not significantly decreased N<sub>2</sub>O emissions relative to common urea, nor did it have an effect on CH<sub>4</sub> emissions. CH<sub>4</sub> emissions were potentiated with the incorporation of the rice straw. The rate of 70 kg ha<sup>-1</sup> of N presented the best nitrogen use efficiency for BRS Catiana genotype, with the lowest emission intensity per grain.

*Key words:* Emission factor, N<sub>2</sub>O, *Oryza sativa*, nitrogen use efficiency

### 4.1 INTRODUÇÃO

Agricultura é a principal fonte de emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O antropogênicos, contribuindo com cerca de 10-12% das emissões antropogênicas globais desses gases, em 2010. No que diz respeito ao CH<sub>4</sub>, a produção de arroz (*Oryza sativa* L.) inundado é uma das principais fontes de emissão deste gás no mundo e representa de 9 a 11% das emissões totais de CH<sub>4</sub> (IPCC, 2014). Embora os cultivos de arroz também emitam N<sub>2</sub>O, as emissões de CH<sub>4</sub>

representam, aproximadamente, 90% do potencial de aquecimento global em sistemas de arroz inundado (Linguist et al., 2012a). A produção de  $N_2O$  e  $CH_4$  em solos alagados ocorre em situações distintas (Reddy & DeLaune, 2008), por meio de processos aeróbios e anaeróbios.

O Brasil é o nono produtor mundial de arroz e o maior fora do continente asiático (FAO, 2016). Mais de 80% da produção brasileira é proveniente de áreas de várzeas (CONAB, 2016), cujo sistema básico de cultivo é o irrigado por inundação. Mais de 75% da produção de arroz do Brasil se concentra na região Sul (IBGE, 2017). No entanto, nas regiões do Centro-Oeste, Norte e Nordeste do Brasil, região de clima tropical, as áreas de várzeas cultivadas com arroz irrigado são de apenas 13% do total existente e respondem por aproximadamente por 11% da produção brasileira (Santos et al., 2008), representando uma área com grande potencial para a expansão da orizicultura irrigada brasileira, e, frente às pressões para o aumento da produção de alimentos a utilização dessas áreas será inevitável. Com o aumento da produção de arroz provavelmente, as emissões de  $N_2O$  e  $CH_4$  aumentarão. Dessa forma, estudos que visam o aumento da produtividade associados a baixo impacto ambiental são importantes.

A adição de nitrogênio ao sistema produtivo é uma prática necessária para atingir altas produtividades das culturas, mas que influencia diretamente as taxas de emissão de  $N_2O$  e a troca de  $CH_4$  entre as plantas e a atmosfera, proporcionando efeitos variáveis nas emissões deste gás de efeito estufa (GEE). Altas taxas de N geralmente conduzem a maiores emissões de  $N_2O$  (Linguist et al., 2012a). Estudos sugerem que altas doses de N podem reduzir as emissões de  $CH_4$ , pois tem sido hipotetizado que altas concentrações de  $NH_4^+$  no solo podem estimular a oxidação de  $CH_4$  em solos cultivados com arroz inundado, reduzindo emissões de  $CH_4$  (Banger et al., 2012). Linguist et al. (2012b) concluíram que uma pequena quantidade de fertilizantes nitrogenados aplicados ao arroz inundado estimularam a emissão de  $CH_4$ , enquanto quantidades maiores inibiram a emissão do gás. Porém os resultados variam de acordo com a localização, preparo do solo, aplicação de fertilizantes nitrogenados, tipo de cultivares, tipos de solo, ciclos de inundação e drenagem do solo (Linguist et al., 2012b; MCTI, 2016).

Dessa forma, estudos sobre os efeitos da aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura de arroz inundado sob condições tropicais na emissão de  $N_2O$  e  $CH_4$  para identificar e desenvolver possíveis estratégias de mitigação desses gases são essenciais. Diante deste contexto, o estudo objetivou avaliar a dinâmica dos fluxos e quantificar as emissões de  $N_2O$  e  $CH_4$ , bem como estimar a perda de nitrogênio na forma de  $N_2O$ , decorrente da aplicação de fertilizantes nitrogenados, em diferentes doses, no cultivo do arroz irrigado por inundação na região Centro Oeste do Brasil.

## 4.2 MATERIAL E METODOS

### 4.2.1 rea Experimental

O estudo foi conduzido em condições de campo, nas safras 2014/15 e 2015/16, na Estação Experimental da Fazenda Palmital da Embrapa Arroz e Feijão, situada no município de Goianira, GO, ( $16^\circ 43' 33''$  S,  $49^\circ 38' 33''$  W e 785 metros de altitude média) (Figura 2.1). O clima da região, de acordo a classificação climática de Kppen-Geiger (Kottek et al., 2006),  do tipo "Aw", com temperatura média anual do ar de  $23,0^\circ C$ .



**Figura 2.1.** Localização da área experimental (fonte: Embrapa, 2013).

No mês de junho ocorre a menor média de temperatura mínima do ar ( $14,2^\circ C$ ), enquanto o de setembro apresenta maior média de temperatura máxima ( $31,7^\circ C$ ). A precipitação pluvial média anual é de 1.485 mm e a umidade relativa do ar média anual de 71%. Os dados de precipitação e temperatura

durante a execução do experimento foram obtidos na Estação Meteorológica da Embrapa Arroz e Feijão. As avaliações foram realizadas nas safras 2014/2015 (170 dias), 2015/2016 (129 dias) e entressafra (132 dias).

A área experimental encontra-se sobre um Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvíssólico, textura média/média cascalhenta, A moderado, fases relevo plano, pedregosa III, campo hidrófilo de várzea (GXve2) (Oliveira & Rodrigues, 2012), sob cultivo de arroz irrigado por inundação em sistema convencional há, aproximadamente, 36 anos.

#### 4.2.2 Desenvolvimento do experimento

O experimento para determinar as perdas de N provenientes da adubação nitrogenada foi desenvolvido seguindo um delineamento de blocos casualizados contendo sete tratamentos e três repetições. Os tratamentos testados foram: Testemunha - sem nenhuma aplicação de N; Aplicação de ureia comum (UC) nas doses 30, 70, 150 kg ha<sup>-1</sup>; Aplicação de ureia revestida com 0,15% Cu e 0,4% B, inibidores de urease – ureia protegida (UP) nas mesmas doses, constituindo 21 unidades experimentais (parcelas) de 5,5 x 3,3 m.

##### **Safra 2014/15**

As operações de preparo do solo em sistema convencional consistiram de gradagem e nivelamento, sendo realizada previamente à semeadura de adubo verde. Em 10/10/2014, houve a incorporação dos resíduos do adubo verde (*Crotalaria ochroleuca*) previamente dessecados. O volume de matéria seca incorporada foi: 5892,7 kg ha<sup>-1</sup> no bloco I, 5140,7 kg ha<sup>-1</sup> no bloco II e 6497,1 kg ha<sup>-1</sup> no bloco III.

A semeadura do arroz ocorreu em 23 de outubro de 2014, a cultivar utilizada foi a BRS Catiana, de ciclo médio, classe longo fino, altura média de 102 cm e, produtividade média de 7.000 kg ha<sup>-1</sup>. Na adubação de semeadura, foram aplicados 6,5 kg ha<sup>-1</sup> de N, 39 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 60 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O. O restante das doses de N foram aplicadas em cobertura (duas), a lanço nos estádios fenológicos V3-V4, início do perfilhamento, e V7-V8, por ocasião do perfilhamento efetivo. Nas testemunhas não foi utilizado nitrogênio.

As doses de N, P e K foram calculadas conforme análise prévia de fertilidade do solo, que apresentava os seguintes parâmetros químicos na camada de 0-20 cm: pH: 5,6; Ca: 2,83 cmol<sub>d</sub>/dm<sup>3</sup>; Mg: 0,81 cmol<sub>d</sub>/dm<sup>3</sup>; Al: 0,17 cmol<sub>d</sub>/dm<sup>3</sup>; P: 0,40 cmol<sub>d</sub>/dm<sup>3</sup>; K: 0,105 cmol<sub>d</sub>/dm<sup>3</sup> Cu: 7,4 mg/dm<sup>3</sup>, Zn: 5,9 mg/dm<sup>3</sup>, Fe: 364,2 mg/dm<sup>3</sup>, Mn: 24 mg/dm<sup>3</sup>, e textura: Argila: 23,88%, Silte: 24,2% e Areia: 51,91%.

Quatro dias após a primeira adubação de cobertura, as parcelas foram inundadas, mantendo uma lâmina de água de aproximadamente 10 cm até o momento da colheita do arroz. A colheita do arroz para determinação de produtividade ocorreu em 11/03/2015.

### **Safra 2015/16**

Na safra 2015/16 as operações de preparo do solo em sistema convencional consistiram de gradagem e nivelamento, nessa safra não foi realizada a incorporação de adubo verde, previamente à semeadura, apenas dos restos culturais do arroz, equivalentes a um volume de matéria seca incorporada ao solo de 5893,4 kg ha<sup>-1</sup> no bloco I, 5149,4 kg ha<sup>-1</sup> no bloco II e 6497,1 kg ha<sup>-1</sup> no bloco III. As doses de P e K foram calculadas conforme análise prévia de fertilidade do solo, que apresentava os seguintes parâmetros na camada de 0-20 cm: pH (H<sub>2</sub>O): 5,2; Ca: 20 mmol<sub>d</sub>/dm<sup>3</sup>; Mg: 6,3 mmol<sub>d</sub>/dm<sup>3</sup>; Al: 6,9 mmol<sub>d</sub>/dm<sup>3</sup>; P: 43,2 mg/dm<sup>3</sup>; K: 59,4 mg/dm<sup>3</sup>, Cu: 2,3 mg/dm<sup>3</sup>, Zn: 3,9 mg/dm<sup>3</sup>, Fe: 324,2 mg/dm<sup>3</sup>, Mn: 41,1 mg/dm<sup>3</sup>, Carbono total: 2,3% e Nitrogênio total: 0,2%.

Na adubação de base, em linha de semeadura, foram aplicados 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo o restante das doses de N aplicadas em cobertura (duas), a lanço, nos estádios fenológicos V3-V4, início do perfilhamento, e V7-V8, por ocasião do perfilhamento efetivo. Nas testemunhas não foi utilizado nitrogênio. A cultivar utilizada foi a mesma da safra anterior, a BRS Catiana.

Quatorze dias depois após a primeira adubação de cobertura, as parcelas foram inundadas, mantendo uma lâmina de água de, aproximadamente, 10 cm até o momento da colheita do arroz que ocorreu em 09/03/2016.

#### 4.2.3 Coleta das amostras de gases e análise do N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>

Em cada parcela experimental foi instalada uma câmara estática para coletar os gases provenientes das áreas de arroz inundado e quantificar as perdas de N via emissões de N<sub>2</sub>O e para as emissões de CH<sub>4</sub>. Essas análises foram feitas na safra 2014/15 com o uso de câmaras estáticas, constituídas por uma base de metal retangular (40 x 60 cm), instalada no solo a 5 cm de profundidade, cuja tampa metálica possui 15 cm de altura e com as mesmas dimensões da base. As tampas apresentam um orifício para viabilizar a coleta dos gases, com auxílio de seringas com capacidade de 60mL, previamente submetidas a vácuo. O gás coletado era, posteriormente, transferido para frascos de vidro com capacidade de 20 mL, em que no momento da coleta, um vácuo de -70 kPa foi feito em cada frasco com o auxílio de uma bomba manual. Na parte superior da base, para facilitar o encaixe da tampa, existe uma calha com cerca de 1 cm de largura, onde se adicionava uma pequena quantidade de água a fim de garantir a perfeita vedação da câmara. Por ocasião do crescimento das plantas de arroz, foi inserido um extensor entre a base e o topo da câmara (Figura 2.2).



**Figura 2.2.** Câmaras de coleta de N<sub>2</sub>O retangular (Mosier, 1989), instaladas na área experimental da Fazenda Palmital, Goianira-GO.

Na safra 2015/16 as câmaras estáticas utilizadas eram compostas por uma base de plástico circular (altura = 20 cm e raio= 17,5 cm), inserida no solo a até 10 cm de profundidade, e cobertas por tampa de plástico com orifício para o

acoplamento da bomba de vácuo manual. Foi usado extensor com 38 cm. As câmaras foram confeccionadas a partir de baldes plásticos industriais de 30 litros (Figura 2.3).



**Figura 2.3.** Câmaras de coleta de  $N_2O$  confeccionadas com baldes plásticos branco de 30 litros (Mosier, 1989), instaladas na área experimental da Fazenda Palmital, Goianira-GO.

As amostragens dos gases foram realizadas no período da manhã, entre às 9h às 11h conforme Jantalia et al. (2008), em intervalos de tempos pré-estabelecidos 0, 15 e 30 minutos após fechamento das câmaras. Em cada amostragem de gases, foram monitoradas as temperaturas da câmara, do solo (0 - 10 cm) e do ar com auxílio de um termômetro digital, obtendo as leituras antes e depois das coletas.

Para o monitoramento das emissões de  $N_2O$  e  $CH_4$  durante o experimento, as coletas foram realizadas duas vezes por semana no período não inundado e uma vez por semana no período de inundação. Após cada adubação nitrogenada, estabeleceu-se a frequência diária de amostragem, por um período de sete dias, enquanto na entressafra, as coletas foram quinzenais.

As concentrações de  $N_2O$  e  $CH_4$  foram determinadas em cromatógrafo Shimadzu GC 2014 modelo “Greenhouse”, equipado com detector de captura de elétrons (ECD) a  $325^{\circ}C$ , e colunas empacotadas em temperatura de  $70^{\circ}C$ , utilizando-se o  $N_2$  como gás de arraste a um fluxo de  $26\text{ mL min}^{-1}$ , temperatura do injetor de  $250^{\circ}C$ . O equipamento é provido de um metanador, que transforma o

CO<sub>2</sub> em CH<sub>4</sub>, que posteriormente, é quantificado em detector de ionização de chama (FID) trabalhando na temperatura de 250°C. Os fluxos dos gases foram obtidos pela equação de Hutchinson & Mosier (1981) quando a acumulação de gás nas câmaras é curvilínea.

As variações das concentrações de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> das amostras em razão do intervalo de leitura após fechamento das câmaras (0, 15 e 30 minutos), associadas às informações de volume e área das câmaras, da temperatura do solo e do ar, foram utilizados para o cálculo do fluxo de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> em µg m<sup>-2</sup> hora<sup>-1</sup>, por meio da metodologia estabelecida por Hutchinson & Mosier (1981).

#### 4.2.4 Cálculo dos fluxos de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>

De posse das concentrações de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> advindas do cromatógrafo, os fluxos de gases foram calculados. A taxa de incremento do gás no tempo foi calculada considerando-se o modelo de ajuste linear ( $\Delta C/\Delta t$ ), para os incrementos de gás que apresentaram ajuste linear. Quando os incrementos de gás não apresentaram ajuste linear, foi utilizado o modelo denominado HM (Venterea et al., 2012), proposto por Hutchinson & Mosier (1981) e descrito pela equação (Eq.1):

$$F = (C_1 - C_0)^2 / [t_1 \times (2 \times C_1 - C_2 - C_0)] \times \ln[(C_1 - C_0)/(C_2 - C_1)] \quad [\text{Eq. 1}]$$

em que F é o fluxo (µL L<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> gás); C<sub>0</sub>, C<sub>1</sub>, e C<sub>2</sub> são as concentrações (ppb - N<sub>2</sub>O ou ppm-CH<sub>4</sub>) do gás na câmara de medição no tempo 0, 1 e 2, respectivamente; e t<sub>1</sub> é o intervalo entre os tempos de amostragem (h).

O modelo de cálculo de  $\Delta C/\Delta t$  por HM é aplicado a situações em que as amostragens de gás tenham sido realizadas em no mínimo três momentos e com intervalo de tempo igual entre as amostragens. A função HM é ajustável aos dados quando: i) a razão  $[(C_1 - C_0)/(C_2 - C_1)] > 1$ ; ii) há um adequado fluxo aparente  $(C_2 - C_0)/T_d$ , em que T<sub>d</sub> é o tempo de incubação da medição, tempo entre o tempo “zero” e o último tempo de amostragem da câmara, o qual deverá ser superior a zero. Sendo assim, a função HM não se aplica aos influxos, ou seja, aos fluxos negativos (Parkin et al., 2012).

Foram considerados apenas os fluxos em que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) fosse superior a 0,8, do contrário o dado foi considerado faltoso.

Após a utilização dos critérios para indicar a variação de concentração de  $N_2O$  e  $CH_4$  na câmara no intervalo de incubação ( $\Delta C/\Delta t$ ), o fluxo de óxido nitroso por unidade de área ( $\mu L m^{-2} h^{-1} N_2O$ ) foi obtido multiplicando-se a concentração de gás num dado tempo ( $\mu L L^{-1} h^{-1}$ ), pelo volume da câmara (L), o valor resultante foi dividido pela área da câmara de amostragem ( $m^2$ ). Posteriormente o fluxo de gás foi convertido de unidade volumétrica ( $\mu L m^{-2} h^{-1}$ ) para unidade de massa ( $\mu g m^{-2} h^{-1}$ ), utilizando a lei de gases ideais [Eq. 2].

$$PV = nRT \quad [Eq. 2]$$

em que P é a pressão (atm); V é o volume (L); n é o número de mols do gás ( $\mu mol$ ); R é a constante da lei de gases ideais; e T é a temperatura (K).

A emissão total de  $N_2O$  e  $CH_4$  foi calculada a partir da integração dos fluxos diários de  $N_2O$  e de  $CH_4$ , respectivamente, ao longo do período de avaliação. O fator de emissão ( $FEN_2O$ ) devido à aplicação de fertilizante nitrogenado foi calculado como a proporção de N- $N_2O$  emitido no período da avaliação em relação ao total de N sintético aplicado, conforme Carvalho et al., 2018 [Eq 3].

$$FE_{N_2O} (\%) = ((N-N_2O_{tratamento} - N-N_2O_{testemunha}) / N \text{ aplicado no tratamento}) * 100 \quad [Eq. 3],$$

Em que,  $FEN_2O$  é o fator de emissão de óxido nitroso;  $N-N_2O_{tratamento}$  é o nitrogênio emitido do solo na forma de óxido nitroso com adubação nitrogenada ( $kg ha^{-1}$ );  $N-N_2O_{testemunha}$  é o nitrogênio emitido do solo na forma de óxido nitroso sem adubação nitrogenada ( $kg ha^{-1}$ ).

O potencial de aquecimento global parcial (PAGp) foi calculado convertendo-se emissões de  $N_2O$  e  $CH_4$  para  $CO_2$  equivalente ( $kg ha^{-1} CO_2 eq.$ ), segundo a equação [Eq. 4]:

$$PAGp = (CH_4 \times 21) + (N_2O \times 298) \quad [Eq. 4]$$

Em que:  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  correspondem às emissões acumuladas de  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  durante as safras ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); 21 e 298 valores de PAG para o  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , respectivamente, considerando-se um tempo de permanência na atmosfera de 100 anos (Forster et al., 2007).

#### 4.2.5 Análise complementares

Simultaneamente à amostragem de gases, foram coletadas amostras de solo para determinação da umidade gravimétrica, nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) do solo. No período em que a área encontrava-se alagada, a solução do solo foi extraída e analisada para determinação do pH e do Eh do solo, e dos teores de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ .

Amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-10 cm, com auxílio de trado, tipo sonda-caladora. Cada amostra foi composta por três subamostras retiradas, aleatoriamente, em cada parcela, e homogeneizadas para compor uma amostra por parcela, armazenada em saco plástico. As amostras foram acondicionadas em caixas de isopor contendo bolsa de gelo em gel para resfriamento, e levadas ao Laboratório de Análise Agroambiental da Embrapa Arroz e Feijão, onde foram armazenadas em freezer sendo mantidas congeladas para posterior extração do N mineral. Para extração, foram retiradas 20 g de cada amostra, sendo o restante usado na determinação da umidade gravimétrica (Embrapa, 2017). A extração do  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  foi realizada com solução de KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$  (Tedesco et al., 1995) e analisada por um sistema automatizado de injeção de fluxo (FIA).

No período em que a área encontrava-se inundada coletava-se solução do solo para obtenção dos teores de N mineral, bem como dos valores de pH e do Eh. A solução foi retirada com auxílio de extratores individuais constituídos de tubos de polivinil clorado (PVC) com 60 cm de comprimento, contendo cápsulas de porcelana porosa em uma das extremidades e, internamente, mangueiras de silicone ligando as cápsulas ao exterior dos tubos (Figura 2.4), adaptado de Sousa et al. (2002).



**Figura 2.4.** Extratores de solução do solo, instaladas na área experimental da Fazenda Palmital, Goianira-GO.

Esse sistema é vedado com rolha de borracha, que permite a passagem das mangueiras, que são fechadas com válvulas de três vias, usadas para acoplamento de seringas com capacidade de 60 mL na sucção da solução, instalados a 15 cm de profundidade no solo.

Imediatamente após a extração da solução, as amostras foram levadas ao laboratório e insufladas com  $N_2$  para evitar o contato com ar atmosférico ( $O_2$ ), e em seguida, foi determinado o potencial redox da solução do solo (Eh) por meio do medidor digital, e a leitura do pH, utilizando um peagâmetro de bancada, pelo método do eletrodo (Thomas, 1996). Posteriormente, a solução foi filtrada, acidificada com ácido clorídrico (HCL)  $3 \text{ mol L}^{-1}$ , e imediatamente congelada, para posterior determinação dos teores de nitrato ( $NO_3^-$ ) e amônio ( $NH_4^+$ ) usando o sistema automatizado de injeção de fluxo (FIA) (Greenberg et al. ,1992).

#### 4.2.6 Análises estatísticas

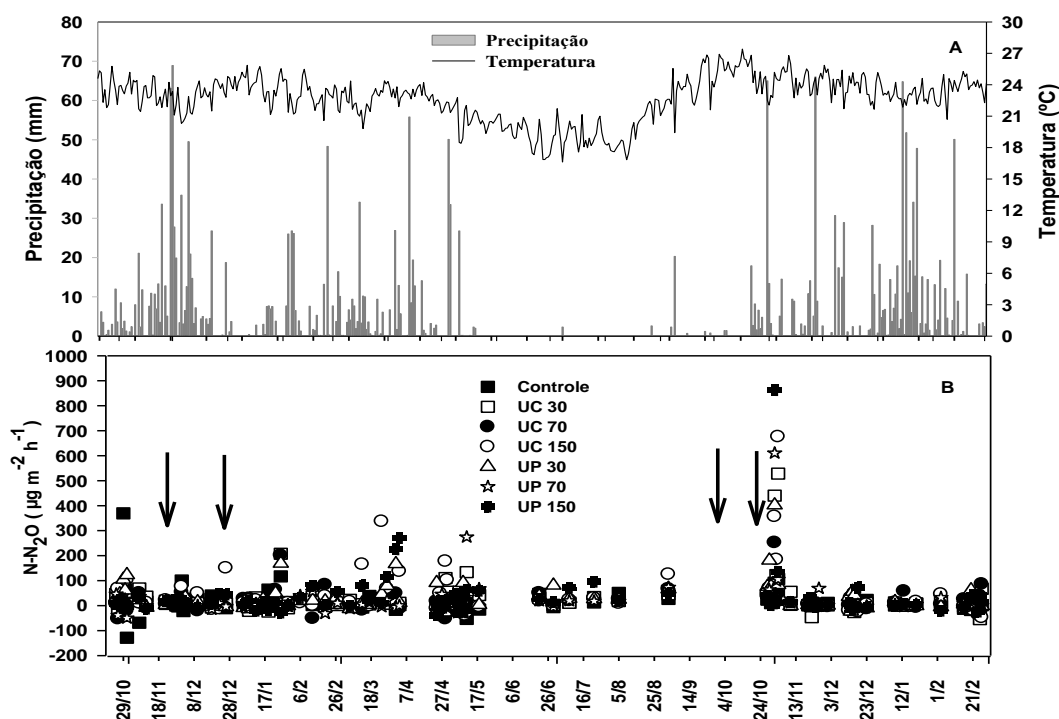
Análises descritivas foram utilizadas para explorar os fluxos diários de  $N_2O$ ,  $CH_4$  e o comportamento, no mesmo período, das variáveis de solo. As emissões acumuladas de  $N_2O$  e  $CH_4$  foram avaliadas em função das fontes de variação do experimento. Foram realizadas análises de correlação e de regressão simples e múltipla para verificar a dependência do fluxo  $N_2O$  e  $CH_4$  em função dos

teores de nitrato, amônio, Eh e pH. As análises estatísticas foram feitas utilizando o programa R (Team, 2013).

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1 Emissões de N<sub>2</sub>O

Os fluxos de N<sub>2</sub>O de área cultivada com arroz irrigado por inundação apresentaram picos positivos (emissão) e negativos (influxo), nas duas safras avaliadas e na entressafra (Figura 2.5B).



**Figura 2.5.** Precipitação e temperatura do ar mensal (A), fluxo de N<sub>2</sub>O (B) decorrentes da aplicação de ureia comum (UC) e ureia protegida (UP) nas doses (30, 70 e 150 kg ha<sup>-1</sup>) em cultivo de arroz irrigado em várzea tropical, Goianira-GO, safras: 2014/2015 e 2015/2016. (As setas indicam as adubações de cobertura em 26/11/2014, 04/01/2015, 17/11/2015 e 12/12/2015).

Na safra 2014/2015 os valores variaram entre -128,63 e 369, 25 µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> N-N<sub>2</sub>O. Em todos os tratamentos foram observados picos de emissão de N-N<sub>2</sub>O após o plantio. Os maiores picos foram verificados nos tratamentos controle

(369,25  $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{N-N}_2\text{O}$ ), tratamento com ureia comum (UC) na dose 150 kg ha<sup>-1</sup> (337,11  $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{N-N}_2\text{O}$ ) e tratamento com ureia protegida (UP) na dose 150 kg ha<sup>-1</sup> (270,28  $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{N-N}_2\text{O}$ ). Na safra 2015/2016, os fluxos variaram entre -54,28 e 862,41  $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{N-N}_2\text{O}$ . Assim como na safra 2014/2015, foram observados picos de emissão em todos os tratamentos após o plantio, no entanto as emissões de N<sub>2</sub>O da safra 2015/2016 alcançaram patamares mais elevados. Os maiores picos foram registrados nos tratamentos UP 150 (862,41  $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{N-N}_2\text{O}$ ), UC 150 (675,85  $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{N-N}_2\text{O}$ ), UP 70 (610,54  $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{N-N}_2\text{O}$ ) e UC 30 (528,25  $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{N-N}_2\text{O}$ ). Todos os picos descritos, em ambas as safras, foram observados no período em que o solo não se encontrava inundado.

O pico inicial de N<sub>2</sub>O observado no controle da safra 2014/2015, possivelmente está relacionado à decomposição dos resíduos de *Crotalaria ochroleuca* incorporados anteriormente ao plantio do arroz. Relação C:N e quantidade e tipo de matéria orgânica adicionada são os principais fatores que afetam a mineralização/imobilização de N em áreas inundadas cultivadas com arroz (DeDatta, 1995). A aplicação de resíduos com menor relação C:N (leguminosas, por exemplo) tende a aumentar as emissões de N<sub>2</sub>O do solo (Zschornack et al., 2011; Das & Adhya, 2014), sendo esse efeito atribuído a uma liberação mais rápida de N, resultando na disponibilidade de N para nitrificação e desnitrificação. Em contrapartida, na safra 2015/2016 no tratamento controle não foram observados picos de emissão de N<sub>2</sub>O, como também não se observaram eventos de absorção de N<sub>2</sub>O, isto se deve, em partes, a não incorporação de adubo verde antes do plantio da safra 2015/2016 como na safra 2014/2015.

Os valores mais elevados dos fluxos da safra 2015/2016, logo após o plantio (24/10/2016) e antes da inundação, em rela o   safra anterior, possivelmente, estão relacionados   ocorrência de precipita es no período, especialmente a de 65 mm do dia 31/10/2016. A precipita o pode afetar a extensão dos sítios de anaerobiose no solo devido ao aumento da umidade do solo e o volume de poros preenchidos por  gua (PPA), influenciando as taxas de emissão de N<sub>2</sub>O tanto pelo processo de nitrifica o, quando o volume de PPA   < 60%, e pela desnitrifica o quando o volume de PPA   > 80% (Signor & Cerri, 2013).

Na entressafra (17/04/2015 a 09/09/2015) também pode ser observado picos de fluxos de  $N_2O$  para todos os tratamentos logo após eventos de precipitação (Figura 2.5B), sendo o maior pico registrado para o tratamento UP 70 ( $274,34 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{N-N}_2\text{O}$ ), seguido do tratamento UC 30 ( $138,84 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{N-N}_2\text{O}$ ) e UP 30 ( $91,10 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{N-N}_2\text{O}$ ).

Antes dos eventos de precipitação no período da entressafra também foram verificados picos de fluxos de  $N_2O$  (Figura 2.5B), em especial nos tratamentos UC 150, UC 30 e UP 30. Esse resultado pode estar associado à manutenção da palhada de arroz sobre a superfície do solo. Souza (2013) registrou aumento das emissões de  $N_2O$  após a incorporação da palha de arroz ao solo no período da entressafra do cultivo de arroz irrigado por inundaçãõ.

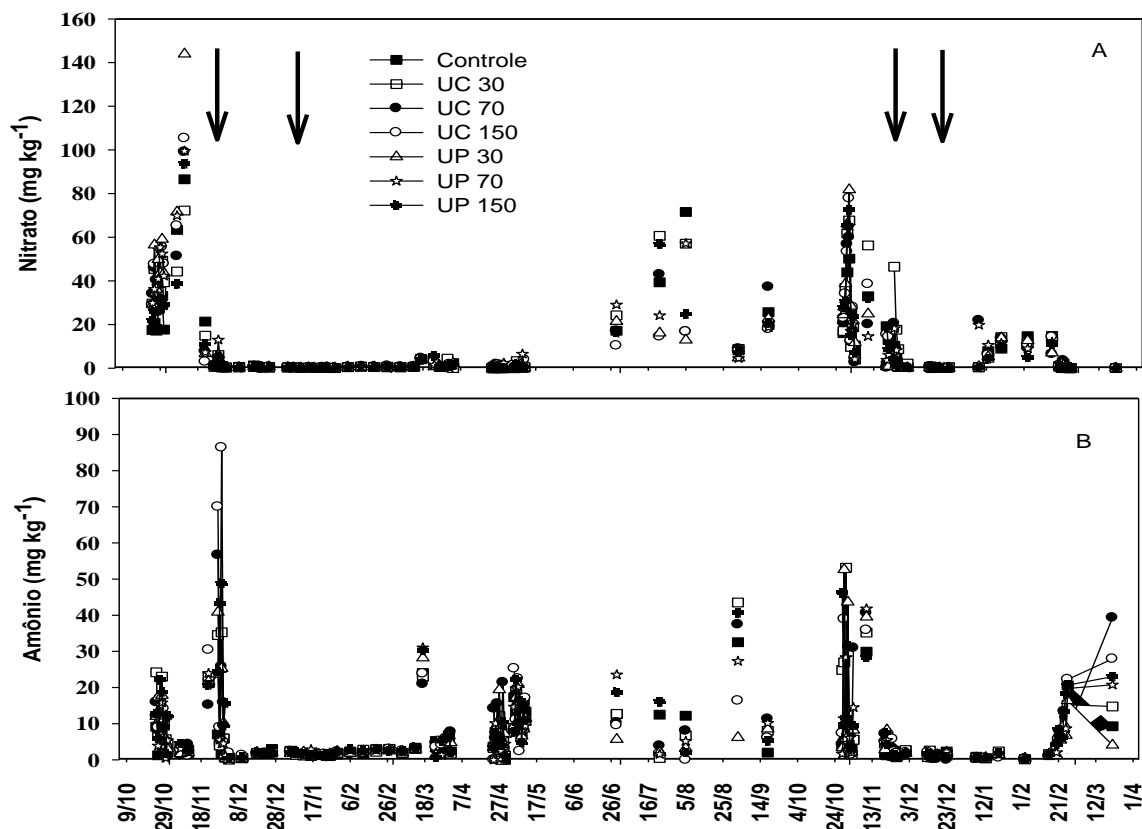
Após esses dois momentos, os fluxos de  $N_2O$  na entressafra mantiveram-se relativamente baixos, próximos à zero, e constantes até o início da safra 2015/2016. Os fluxos durante a entressafra variaram de  $-52,95$  a  $274,34 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{N-N}_2\text{O}$ . No entanto, não houveram diferenças estatísticas entre os tratamentos quanto as taxas de emissões de  $N_2O$ , concordando com os resultados descrito por Pittelkow et al., (2013) ao estudarem GEE em cultivo de arroz inundado continuamente em resposta a entrada de N, Arbuckle, California, EUA.

No início do período de inundaçãõ da safra 2014/2015 (Figura 2.5B) foram observados picos de fluxos de  $N_2O$  em 01/12/2014, logo depois os valores mantiveram-se próximos à zero, ora positivos, ora negativos. Na safra 2015/2016 (Figura 2.5B) não foi observado esse aumento no início do período inundado. No período inundado das duas safras os fluxos de  $N_2O$  não foram superiores a  $207,53 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{N-N}_2\text{O}$ . A inundaçãõ do solo durante grande parte do ciclo do arroz tende a suprimir as emissões de  $N_2O$ , pois sob condições limitantes de  $O_2$ , o  $N_2O$  presente no solo pode ser rapidamente reduzido a  $N_2$ , pela ação das bactérias desnitrificadoras, conduzindo ao processo completo da desnitrificaçãõ, ou seja, até a formaçãõ de  $N_2$  (Reddy & DeLaune, 2008). Além disso, a lâmina de água mantida nesse período serve como uma espécie de barreira física, limitando a transferênciã de  $N_2O$  do solo para a atmosfera (Sousa et al., 2000). Tais fenômenos aliados à baixa concentraçãõ de N mineral em alguns tratamentos sãõ, possivelmente, responsáveis pelas baixas emissões e influxos de  $N_2O$  no

solo no período inundado. No entanto, foram observados alguns picos de emissão para o tratamento UC 150, 27 e 107 dias após a inundação, e para os tratamentos controle ( $117.039 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{N-N}_2\text{O}$ ), UC 30 ( $207.53 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{N-N}_2\text{O}$ ), UC 70 ( $201.28 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{N-N}_2\text{O}$ ) e UP 30 ( $168.82 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{N-N}_2\text{O}$ ) 58 dias após a inundação e 22 dias após a segunda adubação de cobertura, apenas na safra 2014/2015 (Figura 2.5B).

Comportamento inverso ao observado no período inundado, durante o processo de drenagem do solo há um aumento das emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  do solo (Cai et al., 1997; Liu et al., 2010), por este processo criar condições ideais para que a nitrificação e a desnitrificação ocorram (Adviento-Borbe et al. 2015). No presente estudo, no período de drenagem ao final do ciclo do arroz foram verificados picos de emissão apenas na safra 2014/2015 para os tratamentos UC 150, UP 150 e UP 30, entre 7 e 17 dias após o evento de drenagem.

Para os demais tratamentos e na safra 2015/2016 os fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  permaneceram próximos à zero, ocorrendo inclusive eventos de influxos. Durante este período, o conteúdo de  $\text{NO}_3^-$  do solo também permaneceu próximo à zero (Figura 2.6A), o que sugere reduzido progresso da nitrificação, embora maior quantidade de  $\text{NH}_4^+$  estivesse presente (Figura 2.6B) e o fornecimento de oxigênio para nitrificação aeróbica bactérias era esperado.



**Figura 2.6.** Variação do teor de nitrato (A) e variação do teor de amônio (B) no solo e na solução do solo durante em cultivo de arroz irrigado em várzea tropical nas safras 2014/15 e 2015/16. Tratamentos: ureia comum (UC) e ureia protegida (UP) nas doses (30, 70 e 150 kg ha<sup>-1</sup>). As setas indicam as adubações de cobertura do fertilizante nitrogenado (26/11/2014, 04/01/2015, 17/11/2015 e 12/12/2015).

Quanto aos picos observados, principalmente, na dose 150 para as duas fontes, é possível que na alta taxa da adubação nitrogenada, todo o N não tenha sido absorvido e o excesso no solo possa ter contribuído para as emissões de N<sub>2</sub>O após a drenagem, como relatado por Adviento-Borbe et al., (2015) ao estudarem as emissões de metano e óxido nitroso em pós-drenagem de sistema de arroz inundado na Califórnia.

Apesar do registro dos picos de emissão de N<sub>2</sub>O, as aplicações de N (ureia comum e ureia protegida) realizadas durante o ciclo do arroz não foram capazes de apresentar diferenças estatísticas para as emissões de N<sub>2</sub>O entre os tratamentos aplicados (Tabela 2.1). Tal resultado esta de acordo com os obtidos por Carvalho (2015), em safras anteriores na mesma área que o presente estudo

foi realizado, bem como em outros estudos sobre arroz inundado (Zschornack et al., 2011; Adviento-Borbe et al., 2015; Pittelkow et al., 2013). Entretanto, os resultados encontrados divergiram dos resultados obtidos em estudos com cultivo de arroz irrigado na China (Ahmad et al., 2009; Liang et al., 2013), na Índia (Das & Adhya 2013; Bhattacharyya et al, 2013 ) e no Japão (Nishimura et al., 2009). De modo geral, os picos de emissões observadas no presente estudo foram maiores do que os obtidos na China, Índia e Japão.

**Tabela 2.1** Análise de variância para as emissões acumuladas de N<sub>2</sub>O, nas safras de 2014/2015, 2015/2016 e entressafra em cultivo de arroz tropical, irrigado por inundação, sob Gleissolo Háplico, Goianira, GO.

Fontes de variação	N <sub>2</sub> O acumulado - safras e a entressafra	N <sub>2</sub> O acumulado - safra 2014/2015	N <sub>2</sub> O acumulado - safra 2015/2016
	kg ha <sup>-1</sup>		
	P>F		
Fonte (F)	0.791 <sup>NS</sup>	0.635 <sup>NS</sup>	0.242 <sup>NS</sup>
Dose (D)	0.413 <sup>NS</sup>	0.349 <sup>NS</sup>	0.671 <sup>NS</sup>
Bloco (B)	0.311 <sup>NS</sup>	0.926 <sup>NS</sup>	0.469 <sup>NS</sup>
F x D	0.927 <sup>NS</sup>	0.856 <sup>NS</sup>	0.455 <sup>NS</sup>
*Período (P)	0.0575	-	-
D x P	0.4831 <sup>NS</sup>	-	-
F x P	0.1540 <sup>NS</sup>	-	-
F X D X P	0.5000 <sup>NS</sup>	-	-

<sup>NS</sup> Significativo a 10% de probabilidade; <sup>NS</sup> não significativo; \*Períodos (Safras 2014/2015, safra 2015/2016 e entressafra)

#### 4.3.2 Concentrações de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo, Eh e pH do solo

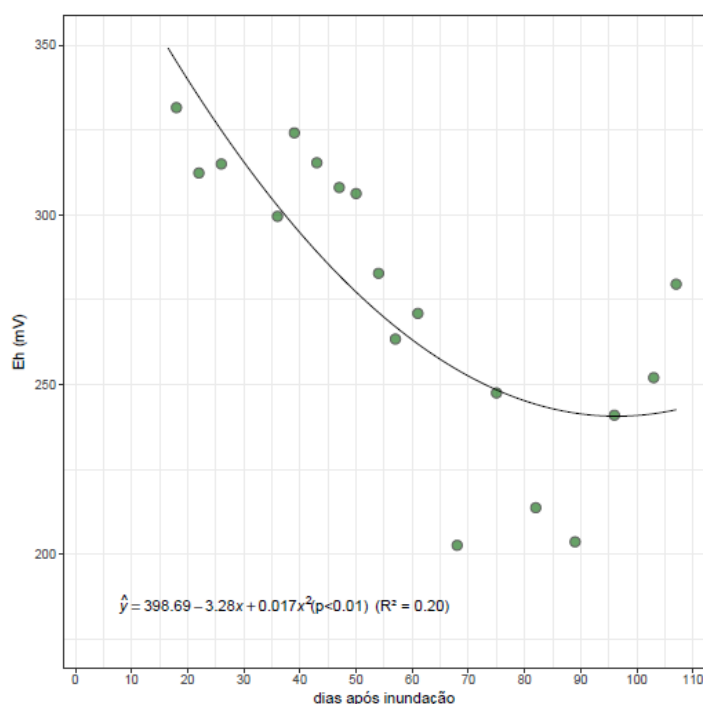
Conforme as figuras 2.6A, o teor de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> do solo reduziu a zero ou a valores bem próximos de zero após a inundação, permanecendo inalterado durante todo o período de cultivo do arroz, especialmente na safra 2014/2015, inclusive no período de drenagem.

A adubação nitrogenada de cobertura não apresentou efeito na concentração de nitrato na solução do solo durante o período inundado, provavelmente por causa da condição de anaerobiose bem estabelecida no período, indicando que a nitrificação do nitrogênio em solos alagados é baixa.

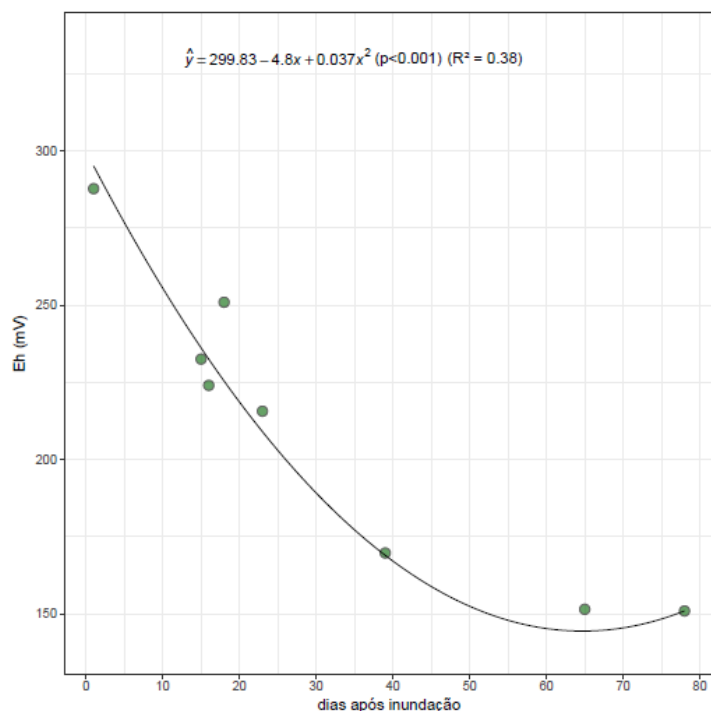
Pittelkow et al. (2013) e Carvalho (2015) também não registraram aumento no conteúdo de nitrato do solo em função das doses de N aplicadas. As perdas iniciais do  $\text{NO}_3^-$ , logo após o alagamento, resultam da absorção pelas plantas, da lixiviação, volatilização de amônia e, principalmente, da desnitrificação a  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{N}_2$  gasosos (Sousa et al., 2000).

A redução do  $\text{NO}_3^-$  ocorre em valores de potencial redox (Eh) positivos, aproximadamente, entre valores de 200 e 400 mV (Sousa et al., 2000). Condições redutoras no solo ( $\text{Eh} < +180$  mV) são frequentemente observadas em solos permanentemente alagados e restringem a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  pois este é rapidamente convertido a  $\text{N}_2$ , sendo o intervalo de Eh entre +300 e +100 mV considerado crítico para a produção de  $\text{N}_2\text{O}$  no solo (Reddy & DeLaune, 2008).

Na safra 2014/2015 o Eh do presente estudo manteve-se entre 350 e 200 mV e na safra 2015/2016 manteve-se entre 300 e 150 mV (Figura 2.7 e 2.8). O Eh diminuiu significativamente com os dias após a inundação nas duas safras.



**Figura 2.7.** Alteração do potencial redox (Eh, mV) de um Gleissolo Háplico cultivado com arroz tropical, irrigado por inundação em Goianira, GO, 2014/2015.



**Figura 2.8.** Alteração no potencial redox (Eh, mV) de um Gleissolo Háplico cultivado com arroz tropical, irrigado por inundação, Goianira, GO, safra 2015/2016.

Os teores de  $\text{NH}_4^+$  no solo aumentaram rapidamente após a primeira aplicação de fertilizante nitrogenado de cobertura na safra 2014/2015, diminuindo logo após a inundação. Na safra 2015/2016 esse aumento foi verificado logo após a semeadura com a adubação de base (24/10/2015), permanecendo, relativamente alto por 22 dias, diminuído após a inundação, assim como na safra anterior, os teores de  $\text{NH}_4^+$  permaneceram baixos por todo o período inundado (Figura 2.6B).

Em ambas as safras não foram detectadas aumento inicial dos teores de  $\text{NH}_4^+$  após a inundação do solo, embora esse comportamento fosse esperado, pois em solos inundados há interrupção da mineralização do nitrogênio na forma amoniacal (Sousa et.al., 2000). Por fluxo de massa, a maior parte do  $\text{NH}_4^+$  do solo fica adsorvida no complexo de troca catiônica do solo sendo, portanto, pouco livre na solução do solo (Patrick et al., 1985). Em solos que apresentam argila com alta atividade, como ocorre no presente trabalho, este fenômeno pode ter sido marcante no processo de adsorção do  $\text{NH}_4^+$ , explicando assim, ao menos em parte, os baixos valores de  $\text{NH}_4^+$  na solução do solo durante o período inundado das duas safras, mesmo após a realização das adubações nitrogenadas. Outro

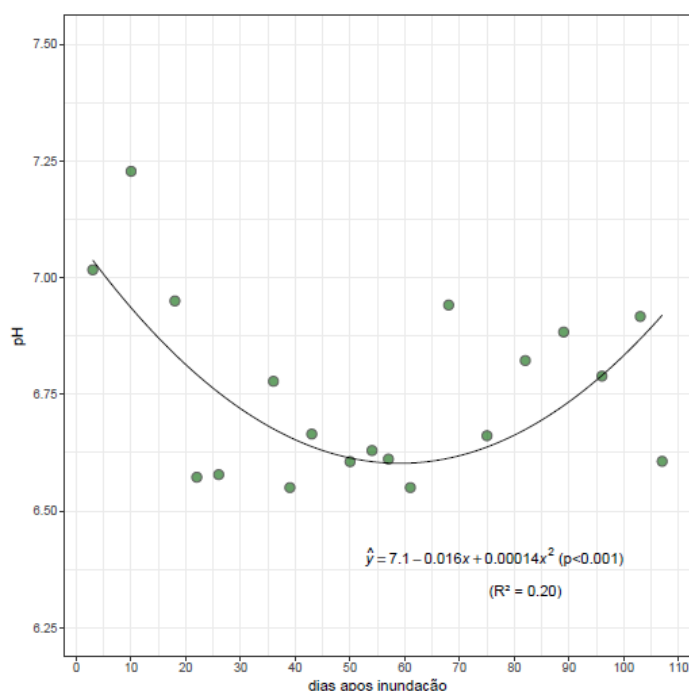
fator que pode ter contribuído com esse resultado obtido se deve ao teor de amônio disponível na solução do solo e que apresenta elevada mobilidade, tanto na lâmina de água, quanto no perfil do solo. O amônio livre na solução do solo pode difundir-se até as regiões oxidadas na camada superficial do solo, na lamina de água ou na rizosfera do arroz, onde pode ser nitrificado, constituindo-se numa importante fonte de perda de N (Ponnamperuma, 1972).

Os teores de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  não apresentaram relação com os fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$ , corroborando com os resultados de Adviento-Borbe et al. (2015) que trabalharam com solos cultivados com arroz inundado na Califórnia, EUA.

O pH do solo decresceu até os 60 dias após alagamento e subiu logo em seguida, mantendo-se próximo a 7 (Figura 2.9). Esse aumento de pH em solos ácidos, após serem alagados, ocorre devido ao processo de redução dos compostos oxidados (Ponnamperuma, 1972; Sousa et al., 2000). O comportamento do pH coincidiu com os apresentados por De-Campos (2006), que trabalhou com solos cultivados e inundados do centro-oeste dos Estados Unidos e, com os resultados de Carvalho (2011), para áreas inundadas tropicais sobre Gleissolo Háptico, cultivadas com arroz. O alagamento eleva o pH do meio estabilizando-se, normalmente, entre 6.5 e 7.0, porém apresenta variações. Esse aumento do pH pode contribuir para a transformação do  $\text{NH}_4^+$  em amônia ( $\text{NH}_3$ ), sendo perdida, facilmente para a atmosfera na forma gasosa (Kirk, 2004) contribuindo para a diminuição de  $\text{NH}_4^+$  no meio. Segundo Moreira & Siqueira (2006) valores de pH do solo entre 6, 5 e 8 otimizam os processo de produção de  $\text{N}_2\text{O}$  no solo.

No início da entressafra os teores de nitrato permaneceram baixos, provavelmente devido ao solo encontrar-se incompletamente drenado, o que pode ter sido comprometido pela ocorrência de precipitações nesse período, sendo registrada uma precipitação de 26,8 mm no dia 11/05/2015 (Figura 2.5A), apresentando elevados sítios de anaerobiose, devido ao aumento do volume de PPA, ocorrendo, assim, pouco avanço no processo de nitrificação, embora uma maior quantidade de  $\text{NH}_4^+$  estivesse presente (Figura 2.6B) e o fornecimento de oxigênio para nitrificação aeróbica bactérias era esperado. Logo após, em virtude do revolvimento do solo e, em consequência, da mineralização da palhada do arroz incorporada ao solo, os teores de nitrato aumentaram. Ocorrendo uma nova

diminuição em decorrência, possivelmente, da inundação realizada na área para fins de estimular a rebrota das plantas invasoras, ao mesmo tempo em que os teores de  $\text{NH}_4^+$  aumentaram. Assim, o N disponível no solo é proveniente da decomposição e mineralização do aporte de resíduos orgânicos ao solo (Scivittaro & Machado, 2004).

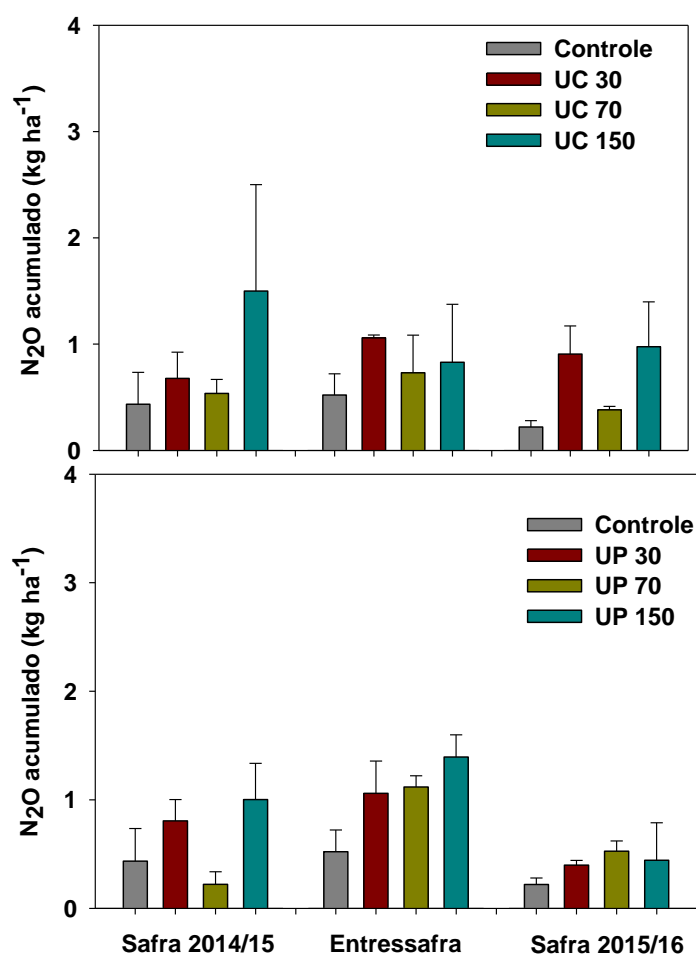


**Figura 2.9.** Alteração no pH de um Gleissolo Háplico cultivado com arroz tropical, irrigado por inundação, Goianira, GO, safra 2015/2016.

#### 4.3.3 Emissão total de $\text{N}_2\text{O}$ e fator de emissão

A emissão acumulada de  $\text{N}_2\text{O}$  variou de 0,22 a 1,50  $\text{kg ha}^{-1}$ . Nas duas safras avaliadas, as emissões foram, em média, menor no tratamento controle, com exceção do tratamento UP 70 na safra 2014/2015, que apresentou a menor media geral (Figura 2.10). Carvalho (2015), estudando perdas gasosas de nitrogênio em sistema de produção de arroz irrigado em várzea tropical, encontrou valores próximos ao do presente estudo, entre - 0,06 e 1,02  $\text{kg ha}^{-1}$  com N- $\text{N}_2\text{O}$  aplicações de 95 e 120  $\text{Kg de N ha}^{-1}$ , na forma de ureia. No entanto, no presente estudo não foram encontrados valores negativos para a emissão total de  $\text{N}_2\text{O}$  nas duas safras e entressafras.

Das & Adhya (2014) encontraram valores de N<sub>2</sub>O próximos aos do presente estudo na região de Cuttack, Índia, em um Aerico Endoaquept (solo com textura argilo franco-arenosa), que variaram de 0,16 kg ha<sup>-1</sup> N-N<sub>2</sub>O para o controle a 0,76 kg ha<sup>-1</sup> N-N<sub>2</sub>O para o tratamento com 120 kg ha<sup>-1</sup>, na forma de ureia. Em contrapartida, Bhattacharyya et al. (2013) estudando GEE em arroz inundado na região tropical da Índia, registraram valores bem superiores, entre 0,82 kg ha<sup>-1</sup> para o controle e 1,46 kg ha<sup>-1</sup> para o tratamento com 60 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia.



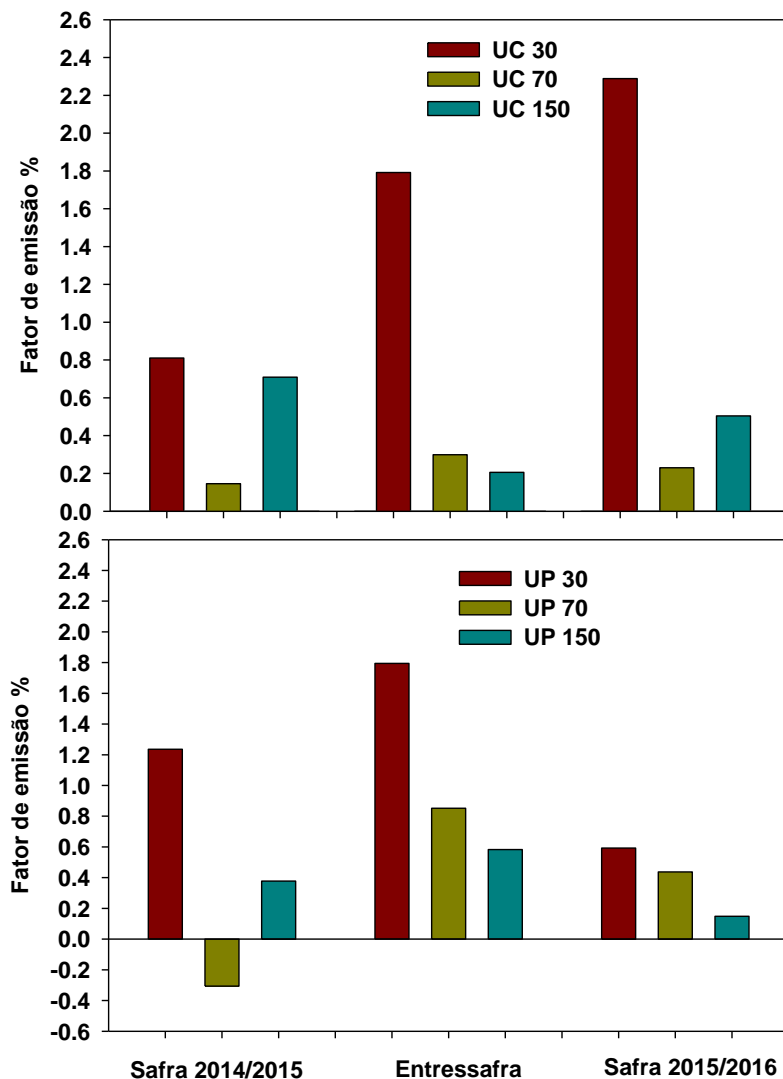
**Figura 2.10.** Emissão acumulada de N<sub>2</sub>O em Gleissolo Háplico cultivado com arroz tropical, irrigado por inundação, Goianira, GO. Tratamentos (controle, ureia comum (UC 30; UC 70 e UC 150) e ureia protegida (UP 30, UP 70 e UP 150)). Barras verticais representam o erro padrão da m dia.

A fertilização nitrogenada   uma prática que intensifica a emissão de N<sub>2</sub>O em cultivo de arroz inundado, conforme Nishimura et al. (2009), Ahmad et al. (2009), Liang et al. (2013), Das & Adhya (2013) e Bhattacharyya et al. (2013). Entretanto, as emissões acumulativas são baixas em campos inundados devido

situação, em geral, a nitrificação é limitada a às condições de anaerobiose, que promovem a desnitrificação, reduzindo o  $N_2O$  ao  $N_2$  (Linguist et al., 2012a). Nessa rizosfera.

A emissão acumulada de  $N_2O$  não diferiu entre os tratamentos ou períodos avaliados (Tabela 2.1). De modo geral, as emissões totais observadas no presente estudo foram ligeiramente maiores nos tratamentos com ureia comum em comparação com os tratamentos com ureia protegida, como verificado na figura 15. Esse fato pode estar relacionado à liberação lenta da ureia com inibidor de urease, que permite que o N mineral seja gradativamente absorvido pelas plantas em desenvolvimento, reduzindo assim o potencial de emissão de  $N_2O$  do solo, como verificado por Zanata (2009). Ji et al. (2013), usando fertilizantes de liberação controlada, detectaram redução significativa de  $N_2O$  em comparação com a ureia, em campos de arroz com inundação intermitente no Sul da China. Esses autores, usando a dose de  $240 \text{ kg ha}^{-1}$  encontraram uma emissão acumulada variando entre 0,1 e  $1,9 \text{ kg ha}^{-1}$  entre os tratamentos, representando 0,06 a 0,62 % de N aplicado.

Os fatores de emissão de  $N_2O$  induzidos por fertilizantes aumentaram com a taxa de N em ambas as safras, variando de - 0,31% (UP 70 em 2014/2015) a 2,28% (UC 30 em 2015/2016) (Figura 2.11). Para a maioria dos tratamentos estudados, os valores encontrados são superiores ao valor médio de 0,22% relatado para sistemas de arroz continuamente inundados (Akiyama et al., 2005), e maiores que o limite superior da faixa de incerteza, que, de acordo com o IPCC (2006), situa-se entre 0,0 e 0,6%. O IPCC (2006) também indica como valor médio de 0,3% a quantidade de fertilizante nitrogenado sintético aplicado em campos de arroz inundado que é perdida na forma de  $N_2O$ . No entanto a média geral, incluindo o período de entressafra, não foi superior a 1% e a média incluindo apenas o período das safras não foi superior a 0,6%, caindo, portanto, dentro dos limites definidos. Vários estudos têm indicado que este fator pode ser bastante variável com o tipo de solo, ambiente e manejo do solo e das culturas (Linguist et al., 2012b; MCTI, 2016).



**Figura 2.11.** Fator de emissão de nitrogênio para os tratamentos avaliados nas duas safras de cultivo de arroz tropical, irrigado por inundação, Goianira, GO. Tratamentos (controle, ureia comum (UC 30; UC 70 e UC 150) e ureia protegida (UP 30, UP 70 e UP 150)).

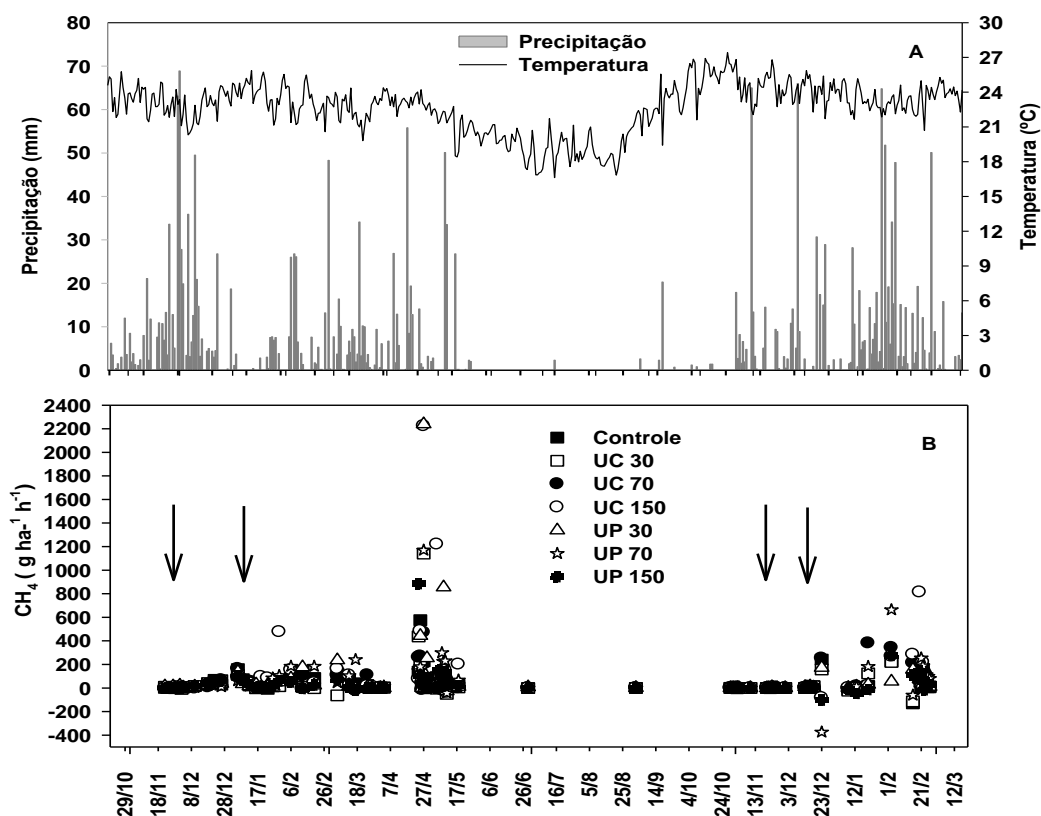
Como as emissões de  $N_2O$ , de modo geral, foram maiores para os tratamentos com ureia comum, os fatores de emissão também foram maiores para estes tratamentos. No entanto, a redução do fator de emissão no tratamentos com ureia protegida não foi significativa. Os valores de fator de emissão para os tratamentos UC 30 (ambas as safras) e UP 30 (safra 2014/2015) podem ser considerados altos ( $> 0,8\%$ ), indicando baixa eficiência de uso do N fertilizante, devido às perdas de N na forma gasosa ( $N_2O$ ) e a menor

produtividade que apresentaram em relação aos demais tratamentos (Figura 2.11 e Tabela 2.1).

Os resíduos vegetais incorporados ao solo proporcionaram a mobilização do N (Moreira & Siqueira, 2006). A incorporação e mobilização de N ao solo em todos os tratamentos, na safra 2014/2015, explica, em partes, a ocorrência de um fator de emissão negativo, conforme se observa para o tratamento UP 70 na figura 2.16. O fator de emissão pode ser negativo se o tratamento controle emitir mais  $N_2O$  que os tratamentos que receberam N mineral e o aproveitamento do N adicionado pelas plantas for satisfatório.

#### 4.3.4 Emissão de $CH_4$

Na safra 2014/2015, as taxas de emissão de  $CH_4$  variaram entre -62,96 a 476,39  $g\ ha^{-1}\ h^{-1}\ C-CH_4$ , enquanto que na safra 2015/2016 a variação foi de -374,67 a 813,61  $g\ ha^{-1}\ h^{-1}\ C-CH_4$  e, na entressafra, de -49,43 a 2239,25  $g\ ha^{-1}\ h^{-1}\ C-CH_4$  (Figuras 2.12B).



**Figura 2.12.** Precipitação e temperatura do ar mensal (A), fluxo de CH<sub>4</sub> (B) decorrentes da aplicação de ureia comum (UC) e ureia protegida (UP) nas doses (30, 70 e 150 kg ha<sup>-1</sup>) em cultivo de arroz irrigado em várzea tropical, Goianira-GO, safras: 2014/2015 e 2015/2016. (As setas indicam as adubações de cobertura em 26/11/2014, 04/01/2015, 17/11/2015 e 12/12/2015).

As maiores emissões na safra 2015/2016 podem estar associadas à incorporação de resíduos orgânicos no solo previamente ao cultivo: adubo verde (*Crotalaria ochroleuca*) na safra 2014/2015 e de restos culturais do arroz na safra 2015/2016. O aporte de resíduos vegetais, em solos alagados, intensifica a produção e a emissão de CH<sub>4</sub>, pois fornece C ao sistema, favorecendo a liberação de substrato para a metanogênese (compostos orgânicos lábeis) e favorecendo, também, a redução do solo (Dalal et al., 2008). Na safra 2015/2016 o solo apresentou uma condição de redução mais acentuada que a encontrada na safra 2014/2015 (Figura 2.7 e 2.8), apesar do Eh do solo não ter diferido de modo significativo entre as safras.

Os fluxos diários de CH<sub>4</sub> seguiram padrões semelhantes em todos os tratamentos estudados (Figuras 2.12B). Em ambas as safras, três semanas após a inundação do solo os fluxos de emissão de CH<sub>4</sub> atingiram valores superiores a 100 g CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, tornando-se mais elevados no final do estágio vegetativo e início do estágio reprodutivo do arroz, o que corresponde a 68 dias após a inundação (DAI) na safra 2014/2015 e 50 DAI na safra 2015/2016. Com o desenvolvimento das plantas pode haver um maior fornecimento de C para a metanogênese, visto que as raízes e os exsudatos radiculares servem como uma importante fonte de carbono para a produção de CH<sub>4</sub> (Lu et al., 2000).

Outro fator ligado ao aumento dos fluxos de CH<sub>4</sub> é que com o aumento dos dias em que o solo fica inundado ocorre uma diminuição da disponibilidade dos aceptores inorgânicos e os microrganismos anaeróbios passam a utilizar aceptores de origem orgânica, caracterizando um processo conhecido como fermentação, sendo o CH<sub>4</sub> um dos produtos resultantes desse processo (Dalal et al., 2008).

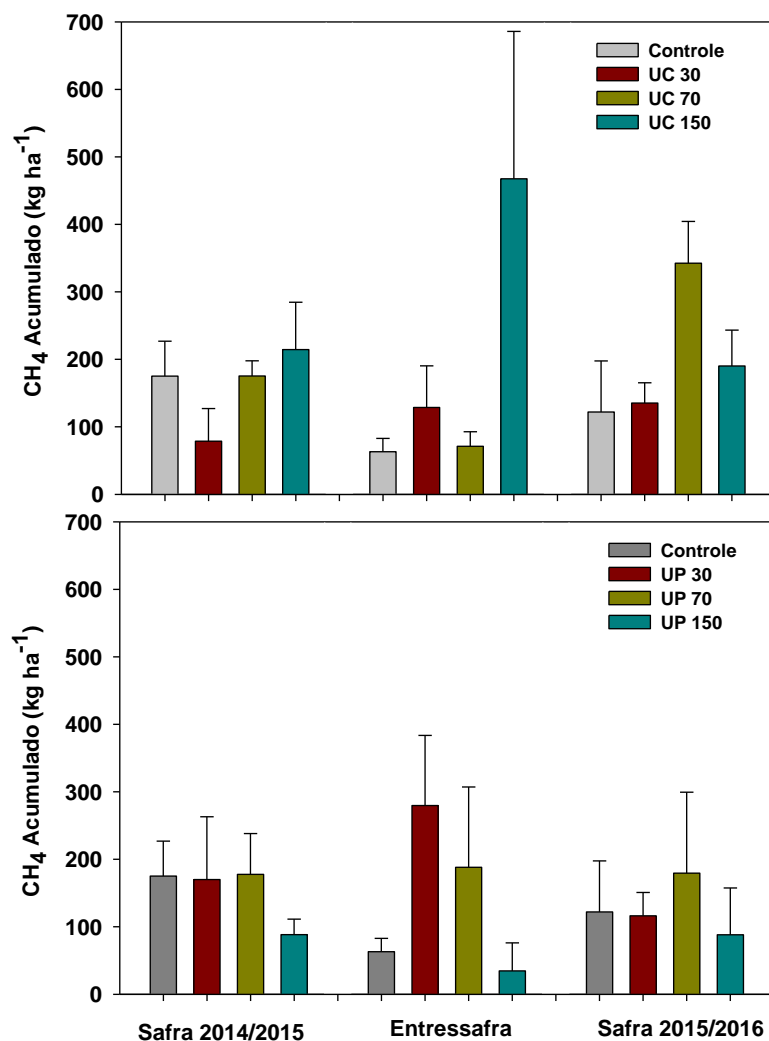
A produção de CH<sub>4</sub> nos solos de várzea está interligada à dinâmica do ferro, de forma que a metanogênese só é desencadeada quando quase todo o Fe encontra-se em seu estado reduzido (Zschornack et al., 2011). Gonçalves (2015), estudando variação de íons na solução do solo em experimento conduzido junto

ao do presente estudo, utilizando os mesmos tratamentos e parcelas, registrou aumento significativo, com os dias após a inundação, das concentrações de Fe na solução do solo, o que é explicado pela redução do óxido férrico ( $\text{Fe}^{+3}$ ). Os resultados indicam possíveis condições do solo favoráveis à produção de  $\text{CH}_4$ , apesar do Eh do solo (Figuras 2.7 e 2.8) não ter alcançado valores negativos, o que configura melhores condições para a produção de  $\text{CH}_4$ .

Em 24/04/2015 a 26/04/2015, início da entressafra ocorreram os maiores picos de emissão de  $\text{CH}_4$  para todo o período analisado, o que pode ser explicado pela manutenção da condição anóxica do solo devido à ocorrência de chuvas durante este período (Figuras 2.12A e B) voltando a deixar o solo novamente inundado. Após o período inundado da safra 2015/2016 também foram registrados picos de emissão. Os fluxos de  $\text{CH}_4$ , mesmo após a drenagem do solo, podem ser explicados pelo aporte de C via partes mortas do sistema radicular e senescência da parte aérea do arroz, além da liberação do  $\text{CH}_4$  aprisionado no solo (Reddy & DeLaune, 2008).

Apesar do registro dos picos de emissão de  $\text{CH}_4$ , as aplicações de N (ureia comum e ureia protegida) realizadas durante o ciclo do arroz não foram capazes de apresentar diferenças estatísticas para as emissões de  $\text{CH}_4$  entre os tratamentos aplicados. Também não foi identificada correlação significativa entre o  $\text{CH}_4$  e as concentrações de  $\text{NH}_4^+$  no solo. Adviento-Borbe et al. (2015), em estudos de laboratório, também não verificaram correlação do  $\text{CH}_4$  com o teor de  $\text{NH}_4^+$  no solo.

Na safra 2014/2015 as emissões acumuladas de  $\text{CH}_4$  variaram de 78,79 a 214,54  $\text{kg ha}^{-1}$ , nos tratamentos UC 30 e UC 150, respectivamente. Na safra 2015/2016, as emissões de  $\text{CH}_4$  variaram de 88,16 a 342,42  $\text{kg ha}^{-1}$ , nos tratamentos UP 150 e UC70, respectivamente (Figura 2.13). Variações interanuais de  $\text{CH}_4$  em mesmo local de estudo são comuns, mesmo quando o manejo da cultura e o clima são semelhantes de ano para ano (Pittelkow et al., 2013). Estes resultados foram mais elevados comparados com os relatados por Pittelkow et al. (2013), Nishimura et al. (2004) e próximos aos valores encontrados por Das & Adhya (2013).



**Figura 2.13.** Emissão acumulada de CH<sub>4</sub> em Gleissolo Háplico cultivado com arroz tropical, irrigado por inundação, Goianira, GO. Tratamentos (controle, ureia comum (UC 30; UC 70 e UC 150) e ureia protegida (UP 30, UP 70 e UP 150)). Barras verticais representam o erro padrão da média.

As emissões acumuladas de CH<sub>4</sub> foram ligeiramente superiores nos tratamentos com ureia comum em relação aos tratamentos com ureia protegida (Figura 2.13), e sugerem que taxas mais baixas de N tendem a aumentar as emissões de CH<sub>4</sub> em relação ao controle, no presente estudo até 70 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto taxas mais altas (150 kg ha<sup>-1</sup>) (ou excessivas) podem inibir as emissões de CH<sub>4</sub>, fato que pode ser evidenciado pelos resultados obtidos nos tratamentos com gradientes de N com ureia protegida, concordado com os resultados descritos por Banger et al. (2012) e Linquist et al. (2012b). No entanto, o aumento das doses de N, bem como as fontes de N consideradas nesse estudo, não

apresentaram diferenças significativas nas emissões acumuladas de CH<sub>4</sub>. Linqvist et al. (2012a) não observaram efeito da taxa de N nas emissões de CH<sub>4</sub>, assim como Pittelkow et al. (2013) ao estudarem GEE em cultivo de arroz inundado continuamente em resposta a entrada de N. De modo geral, os tratamentos na dose 70 utilizando as duas fontes de ureia, apresentaram os maiores e constantes valores nas duas safras avaliadas.

Em baixas a moderadas taxas de N a planta remove o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> da solução do solo, não ficando disponível no solo para estimular a oxidação de CH<sub>4</sub>, em consequência as emissões desse gás aumentam, provavelmente como resultado de plantas maiores. Em contraste, altas taxas de fertilizantes nitrogenados tendem a diminuir a produtividade das plantas, deixando mais NH<sub>4</sub><sup>+</sup> na solução do solo para estimular a oxidação de CH<sub>4</sub> (Bodelier e Laanbroek, 2004).

#### **4.3.5 Potencial de Aquecimento Global parcial (PAGp) e produtividade do arroz irrigado por inundação**

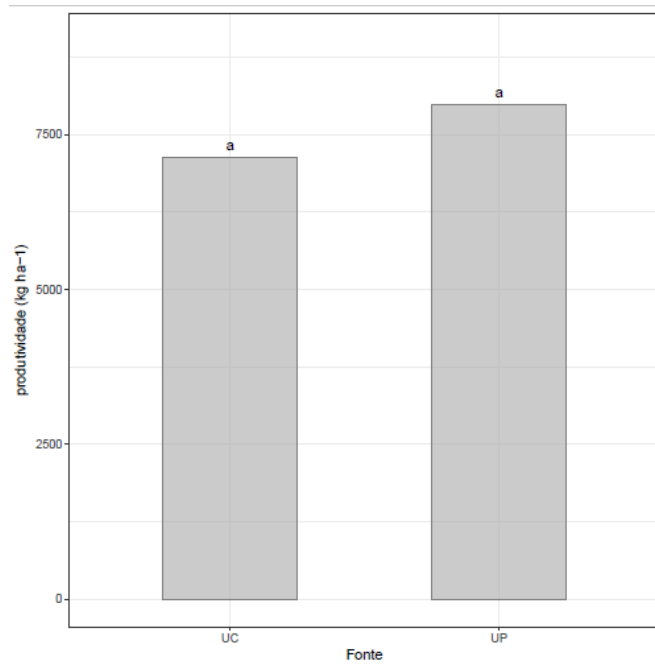
Com base nas emissões acumuladas de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>, foi estimada a contribuição de cada tratamento para o potencial de aquecimento global parcial (PAGp), expresso em kg de CO<sub>2</sub> equivalente (Tabela 2.2), sendo que o N<sub>2</sub>O e o CH<sub>4</sub> têm 298 e 21 vezes maior potencial de aquecimento do que o CO<sub>2</sub> (Forster et al., 2007). O PAGp do N<sub>2</sub>O e do CH<sub>4</sub>, quando avaliados individualmente, não apresenta diferenças significativas entre os tratamentos. Os resultados indicam que há maior contribuição do CH<sub>4</sub> para o PAGp em relação ao N<sub>2</sub>O (Tabela 2.2), apesar do alto potencial de aquecimento global do N<sub>2</sub>O em relação ao CH<sub>4</sub>. Corroborando com a vasta literatura sobre emissões de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> em sistema de cultivo de arroz irrigado por inundação contínua, os esforços para minimizar o PAG nesses sistemas de cultivo, devem se concentrar, principalmente, na mitigação de CH<sub>4</sub>, apesar das práticas de mitigação de CH<sub>4</sub> contribuírem para elevadas emissões de N<sub>2</sub>O segundo Linqvist et al. (2012a).

**Tabela 2.2** Potencial de aquecimento global parcial (PAGp), produtividade de grãos de arroz e Intensidade de emissão de GEE em arroz tropical irrigado por inundação, BRS Catiana, safras 2014/2015 e 2015/2016, Goianira, GO.

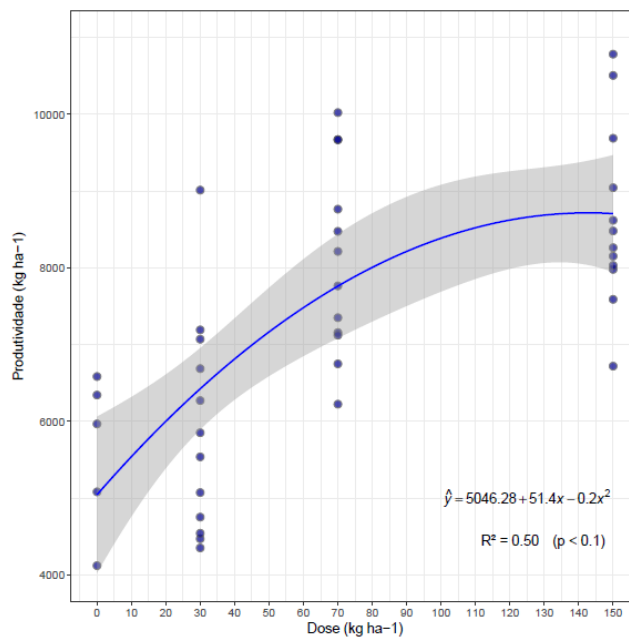
Tratamentos	PAGp			Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	Intensidade de emissão (kg de CO <sub>2</sub> eq / kg grãos)
	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O + CH <sub>4</sub>		
(kg ha <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub> eq)					
Safrá 2014/2015					
T0	129.62	3678.9	3808.48	5264.00	0.72350
UC 30	202.06	1654.7	1856.71	5367.00	0.34595
UC 70	160.06	3683.8	3843.81	7498.00	0.51264
UC 150	446.66	4505.4	4952.10	7487.33	0.66140
UP 30	240.06	3569.5	3809.54	6154.33	0.61900
UP 70	65.77	3732.1	3797.91	7288.67	0.52107
UP 150	298.52	1857.3	2155.79	8091.00	0.26644
Safrá 2015/2016					
T0	65.60	2561.9	2627.48	6156.00	0.42682
UC 30	270.22	2841.0	3111.25	5235.33	0.59428
UC 70	113.62	7190.8	7304.45	8219.00	0.88873
UC 150	290.96	3993.6	4284.60	8928.67	0.47987
UP 30	118.60	2440.7	2559.32	6852.67	0.37348
UP 70	156.79	3768.1	3924.94	9388.33	0.41807
UP 150	131.98	1851.3	1983.28	10110.00	0.19617

Tratamentos T0 = controle, ureia comum (UC) nas doses 30, 70 e 150 kg ha<sup>-1</sup> e ureia protegida (UP) nas doses 30, 70 e 150 kg ha<sup>-1</sup>.

As produtividades de grãos de arroz irrigado por inundação em várzea tropical, cultivar BRS Catiana, não diferiram significativamente entre as fontes N estudadas (Figura 2.14). A cultivar apresentou resposta quadrática com o incremento na taxa de N na faixa de 0 a 150 kg ha<sup>-1</sup>. Pela equação de regressão foi obtido o valor máximo de produtividade na dose de 128, 5 kg ha<sup>-1</sup>, sendo a dose média econômica, ou seja, que atinge 90% da produtividade determinada em torno de 64 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 2.15). Essa dose está abaixo do encontrado por Fageria et al. (2003) que obteve a dose média econômica de três anos de experimentação em torno de 90 kg ha<sup>-1</sup> para arroz irrigado em Gleissolo Háplico, sob várzea tropical.



**Figura 2.14.** Efeito das fontes de fertilizante mineral nitrogenado sobre a produtividade de arroz tropical irrigado por inundação, BRS Catiana, em um Gleissolo Háplico em Goianira, GO.



**Figura 2.15.** Efeito das doses de fertilizante mineral nitrogenado sobre a produtividade de arroz tropical irrigado por inundação, BRS Catiana, em um Gleissolo Háplico em Goianira, GO.

#### 4.4 CONCLUSÕES

As emissões de óxido nítrico, mesmo que em baixas amplitudes durante o cultivo do arroz, são potencializadas quando os resíduos de material vegetal de baixa relação C:N (leguminosas) são incorporadas, enquanto as emissões de metano intensificaram com a incorporação da resteva.

A fonte nitrogenada com inibidor de urease não proporcionou uma diminuição significativa das emissões de N<sub>2</sub>O e do fator de emissão, bem como das emissões de CH<sub>4</sub> em relação à fonte nitrogenada sem inibidor de urease.

O N aumenta a produtividade de grãos de arroz irrigado por inundação, sendo a dose 64 kg ha<sup>-1</sup> em cobertura a que apresenta melhor eficiência de uso de N fertilizante para cultivar BRS Catiana com a menor intensidade de emissão de N<sub>2</sub>O, além de não apresentar diferença de PAGp em relação ao tratamento controle.

#### 4.5 REFERENCIAS

ADVIENTO-BORBE, M. A.; PADILLA, G, N.; PITTELKOW, C. M.; SIMMONDS, M.; van KESSEL, C.; LINQUIST, B. A. Methane and Nitrous Oxide Emissions from Flooded Rice Systems following the End-of-Season Drain. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 44, p. 1071-10-79, 2015.

AHMAD, S.; LI, C.; DAÍ, G.; ZHAN, M.; WANG, J.; PAN, S.; CAO, C. Greenhouse gas emission from direct seeding paddy field under different rice tillage systems in central China. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.106, n.1, p. 54-61. 2009.

AKIYAMA, H.; YAGI, K.; YAN, X.Y. Direct N<sub>2</sub>O emissions from rice paddy fields: summary of available data. **Global Biogeochem. Cycles** v.19, n.1, 2005.

BANGER, K.; TIAN, H.; LU, C. Do nitrogen fertilizers stimulate or inhibit methane emissions from rice fields?. **Global Change Biology**, Oxford v.18, n. 10, p. 3259–3267, 2012.

BODELIER, P.L.; LAANBROEK, H.J. Nitrogen as a regulatory factor of methane oxidation in soils and sediments. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 47, n. 3, p. 265–277, 2004.

BAGGS, E. M.; CHEBII, J.; NDUFA, J. K. A Short-term investigation of trace gas emissions following tillage and no-tillage of agroforestry residues in western Kenya. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 90, p. 60-76, 2006.

BHATTACHARYYA, P.; NAYAK, A.K.; MOHANTY, S.; TRIPATHI, R.; SHAHID, M.; KUMAR, A.; RAJA, R.; PANDA, B. B.; ROY, K. S.; NEOGI, S.; DASH, P. K.; SHUKLA, A. K.; RAO, K. S. Greenhouse gas emission in relation to labile soil C, N pools and functional microbial diversity as influenced by 39 years long-term fertilizer management in tropical rice. **Soil & Tillage Research**, v. 129, p. 93-105, 2013.

BRAGA, D. M.; COSTA, M. K. L.; PONTES, T. L.; ALVES, B. J. R.; SHIGAKI, F. Volatilização de amônia e emissão de óxido nitroso em função da adubação com ureia e vinhoto em cana-de-açúcar. Uberlândia/MG, 2011. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO – CBCS, 33., 2011, Uberlândia/MG, **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia/UFU, 2011, v. 1, p. 1-3.

BODELIER, P. L.; LAANBROEK, H. J. Nitrogen as a regulatory factor of methane oxidation in soils and sediments. **FEMS Microbiol. Ecol.** v. 47, p. 265-277, 2004.

CAI, Z.; XING, G.; YAN, X.; XU, H.; TSURUTA, H.; YAGI, K.; MINAMI, K. Methane and nitrous oxide emissions from rice paddy fields as affected by nitrogen fertilisers and water management. **Plant and Soil**. Dordrecht, v. 196, n. 1, p. 7-14, 1997.

CARVALHO, G. D. **Perdas gasosas de nitrogênio em sistema de produção de arroz irrigado em várzea tropical**. 2015. 63 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água)-Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

CARVALHO, G. D. **Uso de nitrogênio no cultivo arroz irrigado e seus efeitos na planta, no solo e na emissão de óxido nitroso**. 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

CARVALHO, G. D.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. T. M.; SILVA, M. A. S.; SANTOS, A. B.; COSTA, A. R.; CORREA, R. S...[et al]. **Impacto do manejo da adubação nitrogenada sobre a emissão de gás de efeito estufa óxido nitroso e a produtividade de arroz irrigado no Cerrado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2018, 23 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB: **A cultura do Arroz**. Org: Aroldo Antônio de Oliveira Neto. Brasília: Conab, v. 1, p. 1-182, set. 2015. Disponível em:<  
[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_03\\_01\\_16\\_56\\_00\\_a\\_cultura\\_do\\_arroz\\_-\\_conab.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_03_01_16_56_00_a_cultura_do_arroz_-_conab.pdf)>. Acesso em: 21 de jan. 2017.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Perspectivas de diversificação e de investimentos na produção de arroz - trigo – feijão. Org: Aroldo Antônio de Oliveira-Neto. Brasília, v. 1, p. 1-54, 2016. Disponível em: <  
[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_06\\_20\\_10\\_34\\_02\\_compendio\\_de\\_estudos\\_conab\\_-\\_volume\\_1,\\_2016.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_06_20_10_34_02_compendio_de_estudos_conab_-_volume_1,_2016.pdf)>. Acesso em: 20 jan 2017.

DALAL, R. C.; ALLEN, D. E.; LIVESLEY, S. J.; RICHARDS, G. Magnitude and

biophysical regulators of methane emission and consumption in the Australian agricultural, forest, and submerged landscapes: a review. **Plant and Soil**, The Hague, v. 309, p. 43-76, 2008.

DAS, S.; ADHYA, T. K. Effect of combine application of organic manure and inorganic fertilizer on methane and nitrous oxide emissions from a tropical flooded soil planted to rice. **Geoderma**, v. 213, p. 185-192, 2014.

DE-CAMPOS, A. B. **Effects of redox on the solution chemistry and aggregate stability of Midwest uplant soil**. 2006. 249 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-PurdueUniversity, USA, 2006.

DeDATTA, S. K. Nitrogen transformations in wetland rice ecosystems. **Fertilizer Research**, Netherlands, v. 42, n. 1-3, p. 193-203, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. 353 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. 3. ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2017. 575 p.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos. **Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 250 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Statistical Yearbook 2013**. Rome: World Food and Agriculture, 2013. 307 p.

FORSTER, P.; ANDREWS, T.; GOOD, P.; GREGORY, J. M.; JACKSON, L. S.; ZELINKA, M. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: SOLOMON, S. et al. (Eds.). **Climate change 2007: the physical science basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 129-234.

GREENBERG, A.E.; CLESCERI, L.S.; EATON, A.D. eds. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 18.ed. Washington: APHA, AWWA, WPCF, p.5.1-5.15. 1992.

GONÇALVES, G. M. O. **Atributos químicos do solo de várzea tropical cultivado com arroz irrigado em razão do manejo do nitrogênio**. 2015. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água)-Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

GOULDING, K. Nitrate leaching from arable and horticultural land. **Soil Use Management**, v. 16, n. 1, p.145-151, 2000.

HUTCHINSON, G. L.; MOSIER, A. R. Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. **Soil Science Society**, Amsterdam, v. 45, p. 311-316, 1981.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC . Guidelines for national greenhouse gas inventories. In: EGGLESTON, H.S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Org.). **Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme**. Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. Disponível em:< [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter11.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter11.pdf)>. Acesso em: 9 dez. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA-IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em:< [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Levantamento\\_Sistematico\\_da\\_Producao\\_Agricola\\_\[mensal\]/Fasciculo/2017/Prognostico\\_201711.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/2017/Prognostico_201711.pdf)>. Acesso em: 01 maio 2017.

JANTALIA, C. P.; dos SANTOS, H. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Heidelberg, v.82, n.2, p.161-173, 2008.

JI, Y.; LIU, G.; MA, J.; ZHANG, G.; XU, H.; YAGI, K. Effect of controlled-release fertilizer on mitigation of N<sub>2</sub>O emission from paddy field in South China: a multi-year field observation. **Plant and Soil**, Catherine Henault, v. 371, p.473-486, 2013.

KHALIL, M.I. & BAGGS, E.M. CH<sub>4</sub> oxidation and N<sub>2</sub>O emissions at varied soil water-filled pore spaces and headspace CH<sub>4</sub> concentrations. **Soil Biology and Biochemistry** , 37:1785-1794, 2005.

KIRK, G. **The Biogeochemistry of Submerged Soils**. John Wiley & Sons, Chichester, 2004.

LE MER, J.; ROGER, P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: a review. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 37, n. 1, p. 25-50, 2001.

LIANG, X. Q.; LI, H.; WANG, S. X.; YE, Y. S.; JI, Y. J.; TIAN, G. M.; van KESSEL, C.; LINQUIST, B. A. Nitrogen management to reduce yield-scaled global warming potential in rice. **Field Crops Research**, Netherlands, v. 146, p. 66-74, 2013.

LINQUIST, B. A.; van GROENIGEN, K. J.; ADVIENTO-BORBE, M. A.; PITTELKOW, C.; van KESSEL, C. An agronomic assessment of greenhouse gas

emissions from major cereal crops. **Global Change Biology**, v.18, n.1, p.194-209, 2012a.

LINQUIST, B. A.; ADVIENTO-BORBE, M. A.; PITTELKOW, C. M.; van KESSEL, C.; van GROENIGEN, K. J. Fertilizer management practices and greenhouse gas emissions from rice systems: a quantitative review and analysis. **Field Crops Research**, v.135, p. 10-21, 2012b.

LIU, R.; LIU, H.; FENG, H.; WANG, X.; ZHANG, C.-X.; ZHANG, K.-Y.; LAI, R. *Pseudomonas duriflava* sp. nov., isolated from a desert soil. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, [S. l], v. 58, p. 1404-1408, 2008.

LIU, S.; QIN, Y.; ZOU, J.; LIU, Q. Effects of water regime during rice-growing season on annual direct N<sub>2</sub>O emission in a paddy rice-winter wheat rotation system in southeast China. **Science of the Total Environment**. Amsterdam, v. 408, p. 906-913, 2010.

LU, Y.; WASSMANN, R.; NEUE, H-U; CHANGYONG, H. Dynamics of dissolved organic carbon and methane emissions in a flooded rice. **Soil Science Society America Journal**. Madison, v. 64, p. 2011–2017, 2000.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - MTCl. 3ª **Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - Volume III**. Brasília: MTCl, 2016. 336 p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

NEUE, H. U.; WASSMANN, R.; KLUDZE, H. K.; BUJUN, W.; LANTIN, R. S. Factors and processes controlling methane emissions from rice fields. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 49, n. 1-3, p. 111-117, 1997.

NISHIMURA, S.; SAWAMOTO, T.; AKIYAMA, H.; SUDO, S.; YAGI, K. Methane and nitrous oxide emissions from a paddy field with Japanese conventional water management and fertilizer application. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 18, 2004.

OLIVEIRA, V. A.; RODRIGUES, C. **Levantamento detalhado dos solos da Fazenda Palmital, município de Goianira - GO**. Viasat, Goiânia. 2012. p. 81.

PARKIN, T. B.; VENTEREA, R. T. **USDA-ARS GRACEnet Project Protocols Chapter 3**. Chamber-Based Trace Gas Flux Measurements 4. Sampling Protocols, USDA-ARS, Fort Collins, CO, 2010, 39 p.

PARKIN, T. B.; VENTEREA, R. T.; HARGREAVES, K. Calculating the Detection Limits of Chamber-based Soil Greenhouse Gas Flux Measurements. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 41, p. 705-715, 2012.

PATRICK, W. H.; DUANE, S.; MIKKELSEN, D. S.; Wells, B. R. Plant nutrient behavior in flooded soil. In: MATTER F. **Fertilizer Technology and Use**. 3. ed. Madison: Engelstad, 1985. pp. 197- 228.

PITTELKOW, C. M.; ADVIENTO-BORBE, M. A.; HILL, J. E.; SIX, J. VAN KESSEL, C.; LINQUIST, B. A. Yield-scaled global warming potential of annual nitrous oxide and methane emissions from continuously flooded rice in response to nitrogen input. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 177, p. 10-20, 2013.

PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soil. **Advances in Agronomy**, Los Banos, v. 24, p. 29-96, 1972.

REDDY, K. R.; DeLAUNE, R. D. **Biogeochemistry of Wetlands: science and applications**. United States of America: CRC Press, 2008. 806 p.

SANTOS, A. B.; FIORETTO, A. L.; PRABHU, A. S.; PEREIRA, A. J.; FRAZÃO, B. L.; SANTIAGO, C. M. **Informações técnicas para a cultura do arroz irrigado no estado do Tocantins: Safra 2008/2009**. 1. ed. Santo Antônio de Goiás: 2008. 136 p.

SCIVITTARO, V. B.; MACHADO, M. O. **Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado**. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES JR, A. M. (eds). Arroz irrigado no sul do Brasil. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. Cap.9, p.259-303.

SIGNOR, D; CERRI, C.E.P. Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v.43, n.3, 322- 338 p. 2013.

SOUSA, R.O. de; CAMARGO, F. A. de O.; VAHL, L. C. Solos alagados. In: MEURER, E.J. (Ed.). **Fundamentos de Química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2000. p.127-150.

SOUSA, R. O.; BOHNEN, H.; MEURER, E. J. Composição da solução de um solo inundado conforme a profundidade e o tempo de inundação, utilizando novo método de coleta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 343-348, 2002.

SOUZA, E. L. **Emissão de óxido nitroso e metano em área de cultivo de arroz irrigado com diferentes manejos de palha pós-colheita**. 2013. 139 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**, Porto Alegre, Departamento de Solos, UFRGS, 174. 1995.

VAHL, L. C.; SOUZA, R. O. Aspectos físico-químicos de solos inundados. In: GOMES, A. da S., MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de (Org). **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Embrapa, Brasília - DF, 2004. Cap. 4, p. 97-117.

VENTEREA, R. T.; PARKIN, T. B.; CARDENAS, L.; PETERSEN, S. O.; PEDERSEN, A. R. Data analysis Considerations. In: DE KLEIN, C. A. M., HARVEY, M. J. (Eds). **Nitrous Oxide Chamber Methodology Guidelines**. Global Research Alliance for Greenhouse Gases. 2012, 146 p.

ZANATTA, J. A. **Emissão de óxido nitroso afetado por sistemas de manejo do solo e fontes de nitrogênio**. 2009. 79 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

ZSCHORNACK, T.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; ANGHINONI, I. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from floodirrigated rice by no incorporation of winter crop residues into the soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 623-634, 2011.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A agricultura sustentável configura um objetivo a longo prazo, e para tal é necessário uma mudança dos profissionais que atuam na área, pesquisadores e extensionistas, quanto a compressão do manejo sustentável, incluindo a implantação de tecnologias que contribuam para mitigar os GEE. Deve-se buscar uma visão sistêmica e integrada da produção agropecuária em seu ambiente, e assim otimizar a sua continuidade a longo prazo, desenvolvidas localmente, de forma adaptada às condições ecológicas de cada lugar. Fomentar uma cultura de valorização do solo e dos recursos naturais. Portanto, revitalizar o desenvolvimento rural e a produção agrícola de maneira econômica, social e ambientalmente sustentável.

Os resultados da pesquisa evidenciam a importância de estudos para o entendimento do comportamento dos GEE em áreas de várzeas tropicais. Evidenciam que as emissões podem ser afetadas por condições climáticas, como a precipitação, pelo manejo do solo, como a incorporação de diferentes material vegetal (adubo verde X restos da cultura do arroz). Os resultados indicam que altas doses de fertilizantes nitrogenados afetam as emissões, bem como as fontes de N, sendo a fonte sem inibidor mais propícia.

No entanto, por se tratar de um assunto muito delicado para a sociedade global haverem poucos resultados de pesquisas sobre a emissão de GEE, são necessários estudos a campo de longa duração com avaliações diárias de emissões, sob diferentes condições de uso e manejo nas regiões tropicais e, em especial, estudos que correlacionem a pedologia do solo, até o 6º nível categórico, levando em consideração a variabilidade espacial dos solos nas emissões dos GEE.